

**INTRODUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL ESTÁNDAR DE ENERGÍA  
AKTIVPLUS EN COLOMBIA PARA EL DESARROLLO DE EDIFICIOS QUE  
GENERAN MÁS ENERGÍA DE LA QUE NECESITAN**

SANTIAGO ALBERTO CATAÑO RIVERA

Tesis para doble titulación en pregrado de Ingeniería de Procesos y Energía  
Sostenible y Tecnologías del Medioambiente

Asesores

Prof. Dr.-Ing. Uwe Werner

M. Sc. Tobias Nusser

UNIVERSIDAD EAFIT

HOCHSCHULE BREMERHAVEN

2019



A las seis mujeres que me alcahuetearon todo. Sobre todo a mi mamá que asumió la responsabilidad obligada de tomar un papel de papá sin dejar de lado su autenticidad.

Gracias al apoyo de Conconcreto y EGS-Plan.

## CONTENIDO

1. RESUMEN.....	8
2. ABSTRACT .....	9
3. INTRODUCCIÓN.....	9
4. CONTEXTO EN ALEMANIA QUE PROPICIÓ EL PLANTEAMIENTO DEL CONCEPTO <i>AKTIVPLUS</i> .....	10
2.1. TRANSICIÓN ENERGÉTICA O <i>ENERGIEWENDE</i> .....	10
2.2. ESTÁNDARES DE SOSTENIBILIDAD Y ENERGÍA .....	16
2.3. <i>AKTIVPLUS</i> STANDARD .....	25
3. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA.....	30
3.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	30
3.2. DESARROLLO ECONÓMICO .....	32
3.3. TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA .....	35
3.4. POLÍTICAS EN COLOMBIA QUE FOMENTAN ESTOS PROYECTOS.....	48
4. CASO DE ESTUDIO.....	53
4.1. GENERACIÓN LOCAL DE ENERGÍA .....	56
4.2. DEMANDA DE ENERGÍA EN CONTREE.....	64
4.3. AUTOCONSUMO Y CUBRIMIENTO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA POR MEDIO DE SISTEMA DE GENERACIÓN CON FUENTES RENOVABLES .....	87
4.4. FÍSICA DE LA CONSTRUCCIÓN O FÍSICA DE LAS ESTRUCTURAS.....	94
4.5. CALIDAD DEL AIRE.....	100
4.6. CONFORT TÉRMICO .....	106
4.7. CALIDAD ARQUITECTÓNICA .....	115
4.8. RETROALIMENTACIÓN DEL CONFORT DEL USUARIO .....	116
4.9. MOVILIDAD ELÉCTRICA.....	120
4.10. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	124
5. CONCLUSIONES DE ESTE TRABAJO.....	143
6. ANEXOS .....	144
A. EJEMPLO DE UN <i>ENERGY PLUS BUILDING</i> BAJO EL ESTÁNDAR ENERGÉTICO <i>AKTIVPLUS</i> .....	144
B. COMPARACIÓN ENERGÉTICA ENTRE ALEMANIA Y COLOMBIA .....	149
C. FACTORES QUE INCENTIVAN EL DESARROLLO EN COLOMBIA DE EDIFICIOS QUE GENEREN MÁS ENERGÍA DE LA QUE NECESITAN PARA SU OPERACIÓN .....	151
D. COMENTARIOS PARA LA DEFINICIÓN DE UN ESTÁNDAR DE ENERGÍA PARA EDIFICIOS EN COLOMBIA.....	152
7. BIBLIOGRAFÍA.....	163

## FIGURAS

Figura 1. Cambio de paradigma energético planteado en la Transición Energética.....	11
Figura 2. Evolución de energía primaria en Alemania. ....	13
Figura 3. Precio de venta de electricidad con FV. ....	15
Figura 4. Evolución de requerimientos de energía primaria para calefacción de edificios por metro cuadrado.....	16
Figura 5. Comparación de certificados de edificios sostenibles .....	19
Figura 6. Balance energético de un Energy Plus Building según iniciativa Effizienzhausplus .....	21
Figura 7. Ejemplo de cédula de un Energy Plus Building bajo EnEV .....	23
Figura 8. Balance de energía común en un Energy Plus Building en Europa .....	24
Figura 9. Bases del estándar de energía Aktivplus. ....	25
Figura 10. Requerimientos Aktivplus .....	27
Figura 11. Aktiv-Stadthaus .....	29
Figura 12. Capacidad del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en MW .....	30
Figura 13. Seguimiento a volumen útil de embalses en Colombia .....	32
Figura 14. Crecimiento Económico Histórico en algunos países de LA.....	33
Figura 15. Temperatura media del aire exterior. ....	37
Figura 16. Energía Primaria requerida para transformación .....	39
Figura 17. Costo de generación de electricidad por tecnología y zona.....	40
Figura 18. Expansión de generación en MW.....	42
Figura 19. Precio de venta de módulos solares fotovoltaicos.....	43
Figura 20. Consumo de energía eléctrica residencial. ....	46
Figura 21. Imagen digital de Contree y esquema de un piso impar.....	55
Figura 22. Potencial de generación energética mensual en Contree con sistemas fotovoltaicos. ....	56
Figura 23. Ubicación potencial de módulos fotovoltaicos.....	57
Figura 24. Modelación del sistema fotovoltaico en CONTREE .....	58
Figura 25. Escenarios posibles para ubicación de módulos en balcones (Esquema no está a escala).....	59
Figura 26. Trayectoria del sol sobre Contree .....	61
Figura 27. Distribución de generación potencial de cada punto seleccionado para la instalación de un sistema fotovoltaico .....	61
Figura 28. Generación mensual de cada punto potencial .....	62
Figura 29. Disminución de sistema fotovoltaico en techo de parqueadero por sombra	64
Figura 30. Cobertura de demanda eléctrica de apartamentos con planta fotovoltaica en CONTREE .....	68
Figura 31. Demanda de electricidad bajo el escenario estándar (Std).....	70
Figura 32. Perfil de demanda energética de ascensores en Contree .....	71
Figura 33. Horarios de movilización en el Área Metropolitana de los habitantes potenciales de Contree .....	72
Figura 34. Perfil de demanda energética de iluminación de zonas comunes .....	75
Figura 35. Perfil de demanda energética de turco .....	76
Figura 36. Esquema de funcionamiento de bomba de calor.....	79
Figura 37. COP de una bomba de calor dependiente de la temperatura del aire y la temperatura del agua a calentar .....	80
Figura 38. Esquemas de sistema de bomba de calor en edificios de varias viviendas	82

Figura 39. Generación y demanda de energía en Contree .....	85
Figura 40. Cubrimiento de demanda con diferentes tamaños de planta fotovoltaica ...	87
Figura 41. SOC para el mes de enero de tres tamaños de batería .....	92
Figura 42. Esquema de uso energético en edificios de varias viviendas.....	93
Figura 43. Esquema de pago por energía eléctrica en edificios de varias viviendas....	94
Figura 44. Ganancia de energía a través de superficies transparentes.....	95
Figura 45. Valores estándar para SHGC, VT y U según diferentes tipos de acristalamiento y marcos .....	96
Figura 46. Coeficiente de luz diurna en piso par e impar de CONTREE con diferentes niveles de transmitancia de luz.....	98
Figura 47. Demanda de energía en el sector de vivienda en Alemania y Colombia...	101
Figura 48. Condiciones climáticas a lo largo del año en ciudades donde se han realizado proyectos de Energy Plus Buildings o Zero Energy Buildings y Medellín....	102
Figura 49. Esquema de ventilación de dos apartamentos modelo .....	104
Figura 50. Formulario de norma DIN EN 1946-6 para ventilación natural.....	105
Figura 51. Configuración de estructuras comunes de CONTREE: A. Piso de apartamentos B. Pared interna C. Pared externa.....	109
Figura 52. Simulación del desempeño del edificio. A. Render de la simulación B. Plan de un nivel de viviendas.....	110
Figura 53. Evaluación de confort térmico en apartamento del medio del edificio. A. Bajo enfoque de Res. 0549/2017 B. Bajo enfoque de DIN 4108-2 C. Bajo enfoque de DIN EN 15251.....	112
Figura 54. Sensación térmica media anual en ciudades Colombianas.....	115
Figura 55. Perfil de demanda de energía para recarga de autos eléctricos en CONTREE.....	123
Figura 56. Paredes exteriores de CONTREE.....	128
Figura 57. Paredes interiores de CONTREE.....	128
Figura 58. Esquema de potencial distribución del agua en un nivel de viviendas.....	130
Figura 59. Estructura de los techos/suelos de apartamentos.....	130
Figura 60. GEI por los materiales usados en CONTREE.....	137
Figura 61. Distribución de costos de ciclo de vida del edificio.....	142
Figura 62. Esquema energético de Aktiv-Stadthaus Frankfurt.....	145
Figura 63. Cédula Aktivplus de Aktiv-Stadthaus.....	147
Figura 64. Generación y demanda energética de Aktiv-Stadthaus en Frankfurt y valores teóricos si fuera construido en Medellín.....	148
Figura 65. Comparación energética entre Alemania y Colombia.....	149
Figura 66. Caracterización de consumo energético en viviendas en Colombia y Alemania.....	150
Figura 67. Balance de energía común en un Energy Plus Building en Colombia .....	153
Figura 68. Incremento en demanda de electricidad y gas por aumento en área de vivienda.....	158
Figura 69. Comportamiento de la generación y demanda por la instalación de más paneles .....	160
Figura 70. Cobertura de demanda en Colombia según diferentes tamaños de planta fotovoltaica en techo.....	161

## TABLAS

Tabla 1. Acontecimientos históricos que promovieron la definición y difusión del concepto de Transición Energética .....	12
Tabla 2. Definiciones aproximadas de "Edificios de consumo energético casi nulo" .....	18
Tabla 3. Requerimientos estándar Passivhaus .....	20
Tabla 4. Huella de carbono y huella hídrica para diferentes tecnologías de generación energética en Colombia .....	36
Tabla 5. Tecnologías de energías renovables en Medellín .....	38
Tabla 6. Aprovechamiento de radiación solar para proyectos fotovoltaicos .....	44
Tabla 7. Acciones y medidas sectoriales del PAI 2017-2022 .....	51
Tabla 8. Línea base consumo de energía y agua y porcentaje a reducir .....	52
Tabla 9. Factor de generación en diferentes estructuras de Contree .....	57
Tabla 10. Resultados de dimensionamiento de sistema fotovoltaico con PVSOL .....	60
Tabla 11. Demanda de energía eléctrica en un apartamento de 82 m <sup>2</sup> .....	65
Tabla 12. Comparación de algunos electrodomésticos estándar y eficientes .....	66
Tabla 13. Factor de escala para dimensionamiento de perfil de demanda eléctrica en apartamentos .....	69
Tabla 14. Dimensionamiento de sistema de iluminación de zonas comunes en Contree .....	73
Tabla 15. Especificaciones de luminarias utilizadas de demanda de iluminación .....	75
Tabla 16. Consumo de gas natural por habitante en Medellín y Sabaneta .....	77
Tabla 17. Demanda de energía en zonas comunes de Contree .....	85
Tabla 18. Precio promedio de 2018 de la energía eléctrica en Medellín en COP .....	90
Tabla 19. Distribución de energía en CONTREE bajo escenario donde se alcanza el estado Energy Plus Building .....	90
Tabla 20. Entorno financiero en CONTREE bajo escenario donde se alcanza el estado Energy Plus Building .....	91
Tabla 21. Comportamiento del Sistema fotovoltaico con diferentes tamaños de batería .....	91
Tabla 22. Iluminación natural en diferentes apartamentos .....	99
Tabla 23. Generación de dióxido de carbono dentro de edificios y tasas de renovación requeridas para mantener una buena calidad del aire .....	103
Tabla 24. Resultados de simulación térmica para diferentes apartamentos .....	113
Tabla 25. Autonomía de modelos de autos eléctricos más vendidos en Colombia .....	121
Tabla 26. Carga por semana de modelos más populares de carros eléctricos en Colombia .....	122
Tabla 27. Clasificación de estaciones de carga .....	124
Tabla 28. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por calentamiento de agua con bomba de calor .....	125
Tabla 29. Componentes de estructuras físicas de CONTREE o Grupo KG 300 .....	132
Tabla 30. Emisiones de GEI según producción de materiales de construcción en Colombia .....	134
Tabla 31. Factores específicos de emisiones de GEI de componentes físicos del proyecto .....	135
Tabla 32. Cotizaciones de envíos de equipos importados a Colombia .....	136
Tabla 33. Costos unitarios de materiales de construcción .....	139
Tabla 34. Cantidad de materiales estipulada en la construcción del edificio .....	141

Tabla 35. Paneles necesarios para mitigar consumo de energía en Alemania y Colombia.....	155
Tabla 36. Comparación de generación y demanda de edificios en Colombia y Alemania.....	157
Tabla 37. Cobertura de demanda energética según el tamaño del sistema de generación en techo en CONTREE .....	160

## 1. RESUMEN



La introducción de un nuevo modelo de vivienda que genera más energía de la que necesita para su operación, conocido como *Energy Plus Building*, se presenta en este trabajo para Colombia a través del diseño de un concepto particular para un complejo multifamiliar completo que se construirá en el futuro cercano en Medellín, Colombia . La integración de generación de energía con fuentes renovables, metodologías de eficiencia energética para reducción de la demanda de energía, el diseño de estructuras para incentivar el confort del usuario y la evaluación del ciclo de vida son los principales temas evaluados en este trabajo que pretende ser uno de los caminos propuestos para avanzar hacia la Transición Energética desde el sector de la construcción. El entorno legal se está definiendo actualmente para promover dichos proyectos a través de iniciativas como la Resolución 030, Resolución 0549, la Ley 1715 y la Estrategia Colombiana para el Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), factores que deben utilizarse como base para planificar Energy Plus Buildings en Colombia.

## **2. ABSTRACT**

The introduction of a new housing model that generates more energy than the one needed, known as Energy Plus Building, is presented in Colombia through the design of a whole building's concept for a multifamily complex that should be built in the near future in Medellín, Colombia. Integration of energy generation with renewable sources, methodologies to reduce energy demand, structure's design to enhance comfort and life cycle assessment are the main topics evaluated in this work that pretends to be one of the possible paths to follow and move towards the global Energy Transition from the construction sector. Legal environment is currently being defined to promote such projects through initiatives like Resolution 030, Resolution 0549, Law 1715 and the Colombian Strategy for Low Carbon Development (ECDBC), factors proposed as basis to plan Energy Plus Buildings in Colombia.

## **3. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo desarrolla una adaptación para Colombia del estándar alemán *Aktivplus* para el diseño de edificios que de una manera holística no solo generan más energía de la que consumen sino también satisfacen otros intereses de confort, arquitectónicos y ambientales. Una aplicación de dicho estándar en Colombia tal cual como ha sido estipulado para Alemania reduce el impacto positivo que este podría tener en los sectores interesados dadas principalmente las diferencias entre ambos países en incentivos gubernamentales para este tipo de proyectos, diferencias climáticas y en el potencial de diferentes fuentes para la de generación de energía. Por tanto, se plantean cambios para su introducción en Colombia en los requerimientos que exige dicha metodología principalmente en la demanda neta de energía final del edificio, una mayor restricción de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales por persona, niveles de iluminación natural y niveles de confort térmico y calidad del aire.

Para evaluar la adaptación de parámetros se realizó una integración de los mismos en un edificio residencial de construcción futura en la ciudad de Medellín. Planteando así la inclusión de los llamados *Energy Plus Buildings* en las oportunidades y retos del segundo capítulo de la construcción sostenible en Colombia que ha definido el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) que comienza en el 2019.

#### **4. CONTEXTO EN ALEMANIA QUE PROPICIÓ EL PLANTEAMIENTO DEL CONCEPTO AKTIVPLUS**

##### **4.1. TRANSICIÓN ENERGÉTICA O ENERGIEWENDE**

En el año 1980 es publicado en Alemania un estudio titulado “La Transición Energética (Energiewende)” por medio del Instituto de Ecología Aplicada, en el cual se asegura que el crecimiento económico es posible cuando incluso se impulsan medidas de menor consumo energético. Apoyado en que la gran mayoría de la población alemana cree que el cambio climático es un hecho y que, aunque acciones antropogénicas aceleraron este proceso, es deber de estas mismas personas mitigar el impacto de sus actividades. Por tanto decide Alemania emprender un proyecto de desarrollo hasta el año 2050 en el cual planea abastecer energéticamente su país principalmente con energías renovables acompañados de una gestión eficiente de la energía (Morris & Pehnt, 2012).

Se plantea un cambio definitivo pero gradual del paradigma de la energía en la sociedad cuando se proponen metas que, al complementarse, buscan potencializar el crecimiento económico al mismo tiempo que se reduce el uso de la energía necesaria para este fin.

Dichas premisas enfocadas tanto en la generación como en el uso de la energía deben tratarse simultáneamente y no de manera independiente como soluciones parciales si se busca un alto desempeño energético constante y balanceado. Expresando el cociente entre la capacidad global de generar energía (en este caso particular se tratarán solo en su forma térmica y eléctrica) y la demanda de este servicio, actualmente se determina que la Transición Energética plantea un crecimiento en el resultado de dicha división. Dicho comportamiento que busca esta premisa se logra tanto al fomentar el aumento del numerador por medio de la ampliación de la capacidad instalada de generación con fuentes no convencionales de energía (FNCE) y la reducción del denominador cuando la demanda de energía global se acerca en la mayor magnitud posible a una demanda real por medio de proyectos e iniciativas de eficiencia energética como se observa en la Figura 1.

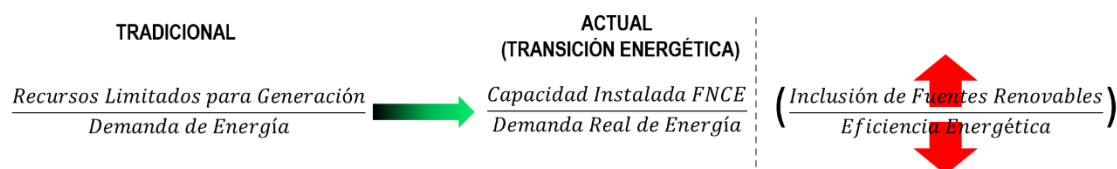


Figura 1. Cambio de paradigma energético planteado en la Transición Energética

Finalmente, esta evolución pretende alcanzar una reducción del 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), 50% de la demanda del recurso energético y una participación del 80% en la generación por medio de FNCE en el año 2050 teniendo como referencia la última década del siglo XX (ICEX, 2016). Este proceso de cambios definitivos en el que se ven involucrados todos los sectores de la sociedad ha sido producto de diferentes hechos históricos que poco a poco contribuyen y dan base a la idea de hacer una transición definitiva en la generación, distribución y hábitos de consumo de la energía. Aunque el interés por el cuidado del medioambiente es un tema que se viene abordando desde la segunda mitad del XX por diferentes medios, iniciativas y proyectos, el término “Energiewende” es simplemente una de estas ideas particulares que pretende contribuir a este fin común a través del manejo racional de la energía. En la Tabla 1 se determinan algunos eventos que han sido fundamentales para el desarrollo de estas premisas.

Tabla 1. Acontecimientos históricos que promovieron la definición y difusión del concepto de Transición Energética

Año	Acontecimiento
1971	Publicación de la conocida "Biblia" de los movimientos antinucleares: <i>Pacíficamente hacia una catástrofe: Documentación de plantas nucleares</i>
1977	Publicación de <i>Vías para una energía blanda</i> , con la cual se dan argumentos ambientales y políticos para optar por alternativas futuras que eviten la expansión descontrolada de generación con carbón, petróleo y centrales nucleares.
1980	Publicación de artículo llamado <i>Energiewende</i> en Alemania que promueve una nueva estrategia para el trato de la energía basado en eficiencia energética y reemplazo de centrales nucleares y petróleo hacia fuentes renovables de energía.
1986	Accidente de Chernóbil activa alarma internacional por niveles de radiactividad en más de 13 países europeos
1990	Primeros objetivos de reducciones de CO <sub>2</sub> : 30% menos emisiones a 2005 con respecto a 1987.
1991	Primera tarifa de inyección de energía eléctrica descentralizada con energías renovables
2000	Primera limitación legal para centrales nucleares: Máximo 32 años de vida
2010	Gobierno de Angela Merkel implementa plan para transición hacia energías sostenibles para el año 2050 con objetivos de reducciones de CO <sub>2</sub> por etapas. Expedición de Directiva 2010/31 de la UE que obliga a que nuevos edificios tengan un alto desempeño energético a más tardar 2020
2011	Accidente de Fukushima
2014	Se define en Alemania haber desactivado todas las centrales nucleares para el año 2022 y reducir emisiones de CO <sub>2</sub> a 2050 entre 80-95%
2015	XXI Conferencia sobre cambio climático: Firma de acuerdo de París para reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Fuente. (Evans, 2016)

Consecuente con lo estipulado, Alemania viene reduciendo tanto la participación de fuentes convencionales de energía primaria como la demanda de esta misma energía. Es decir, se ha enfocado tanto en el numerador como en el denominador de dicha relación como se aprecia en la Figura 2 en donde con el paso de los años, las FNCE van asumiendo parte de las nuevas demandas<sup>1</sup> y los aportes que antes se suplían principalmente a partir de centrales nucleares y termoeléctricas de carbón. El crecimiento de estos aportes se promovió significativamente a partir del año 2000 cuando se expidió la Ley de Energías Renovables (EEG) que fomenta la integración de

<sup>1</sup> Dicha demanda se refiere a las fuentes de energía primaria que a su vez son las formas de energía disponibles en la naturaleza antes de ser transformadas o convertidas como carbón, petróleo, biomasa, radiación solar, diferencias de presión en el aire, entre otros que pueden ser utilizados por la sociedad a través de diferentes tecnologías.

estas fuentes en el sistema de generación de energía eléctrica del país. Bajo diferentes reformas que hay tenido la ley, en su última versión publicada en 2017 determina para el aseguramiento del crecimiento de los aportes de estas fuentes, niveles mínimos de instalaciones nuevas anuales de estas tecnologías. De este modo, para las tecnologías solar fotovoltaica y eólica en tierra obliga a un crecimiento mínimo anual de 2.5 GW, eólica en mar de 6.5 GW y biomasa 100 MW. Por medio de este crecimiento diferentes etapas se planen alcanzar: para el año 2020 contar con un aporte del 35% del total de generación eléctrica a partir de estas fuentes, 2025 con 40-45%, 2035 con 55-55% y finalmente 2050 con 80% (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2018). Cabe resaltar que Alemania tuvo ya en el año 2015 un aporte del 33% con fuentes renovables, superando cinco años antes su meta. Por otro lado, un caso que desfavorece a la Transición Energética en Alemania, se refiere al ámbito de energía final<sup>2</sup> en donde dicho país estima que no alcanzará la meta dispuesta por la Unión Europea para el año 2020 de tener una participación de energías renovables del 18% (tomando en cuenta todas las fuentes de energía y no solo la electricidad). Lo anterior radica en la alta participación que aún tienen las energías tradicionales para calefacción y transporte en el país para lo que se pronostica una participación del 16.7% (Energiezukunft, 2017).

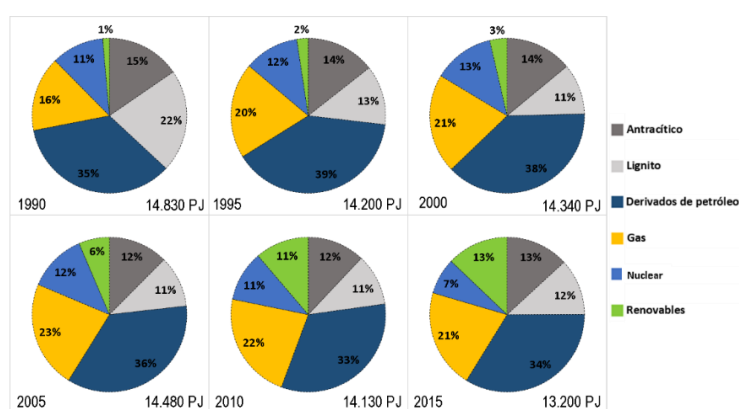


Figura 2. Evolución de energía primaria en Alemania.

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Umwelt Bundesamt, 2018)

<sup>2</sup> La energía final es el servicio medido en los contadores de los proveedores de energía. Es la energía necesaria para la operación de iluminación, ventilación, acondicionamiento térmico, electrodomésticos u otros consumidores y considera la eficiencia de los mismos. Es en última instancia la energía primaria menos las pérdidas por transformación y transporte desde el punto de generación hasta la ubicación del consumidor final en donde se consideran diferentes fuentes de energía como derivados de petróleo, electricidad y gas). También se refiere a la energía obtenida por la combustión del derivado de petróleo o gas cuya cantidad es contabilizada en una estación de servicio o gasolina.

Para soportar legalmente el objetivo de la Transición Energética, la Ley de Energías Renovables de Alemania (EEG) desde su entrada en vigor ha sido ampliamente copiada en diferentes países dado el fuerte impacto que tiene sobre el cambio en la concepción de generación de energía. Principalmente se debe el éxito al establecimiento de la prioridad que tiene el despacho de energías renovables ante las tradicionales y la minimización de trámites burocráticos que entorpecen el desempeño de los proyectos implicados. Para evitar disputas entre proveedores tradicionales de energía, no se les dio la opción a ellos mismos de incursionar como nuevos “vendedores de energía a partir de energías renovables”. Esto con el fin de evitar que los sistemas alternativos de generación al entrar en disputa con los ya existentes se siguieran promoviendo por parte de los mismos operadores de energía los sistemas que ya venían aportando tradicionalmente energía y por ende, frenar desde el principio la expansión de la ley. Así entonces se determina desde un principio que nuevos participantes entrarían a operar el componente renovable del sistema energético alemán.

En el caso de pequeñas plantas generadoras de electricidad con paneles solares fotovoltaicos, que son las más comunes en cuanto a instalaciones, la tarifa a la cual un particular puede entrar a inyectar energía a la red se basa en el costo de inversión inicial (según el tamaño y ubicación en techo o suelo) y el total de energía que podría producir el montaje en cuestión en una vida útil de veinte años. El precio al que se pagaría cada kWh por los veinte años de vida útil es el costo de la inversión por cada kW<sub>p</sub> instalado más una ganancia estimada para este tipo de proyectos que en Alemania ya está definida (BMU, 2007). Dada la caída en los precios de los paneles solares, se hacen más baratas las inversiones en estos proyectos y por tanto se disminuye el precio de venta de electricidad por este medio como se muestra en la Figura 3. En el 2017, la última versión de la ley fue expedida cambiando completamente el paradigma de cómo se incluyen las energías renovables en el sistema de generación nacional alemán. Esta modificación discrimina la cantidad anual de energía por fuente que será vendida y el método por el cual se hará cambia de ser fijado por el Estado para entrar a ser en subastas. Por tanto, electricidad proveniente del recurso eólico en tierra tiene permitido subastarse hasta 2.9 GW, en el mar hasta 15 GW, biomasa hasta 0.15 GW (plantas mayores a 150 kW) y solar fotovoltaica 0.6 GW (plantas mayores de 750 kW). Estas capacidades a ser subastadas aumentarán cada año dada la expansión de las instalaciones de centros generadores de cada tecnología (Beatrix Massig, 2017).

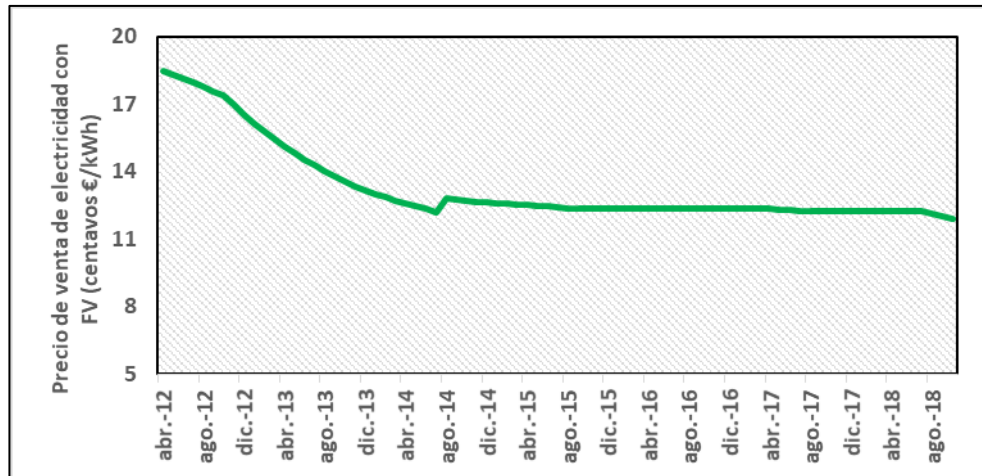


Figura 3. Precio de venta de electricidad con FV.

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Modernus, 2018)

Transición en este caso es también sinónimo de reemplazo y por tanto la inclusión bruta de energías limpias es solo una solución parcial. Para lograr plenamente los objetivos que plantea la premisa inicial, la introducción de estas fuentes no convencionales debe desplazar o apagar las fuentes convencionales. Particularmente en Alemania se ha decidido que tanto los recursos finitos que con su explotación para fines energéticos traen efectos negativos para el medio ambiente como los que significan riesgos potenciales para la sociedad deben ser reemplazados. Esto es finalmente, centrales nucleares y termoeléctricas.

Este primer método de generación eléctrica en Alemania viene siendo implementado desde finales de la década de los sesenta y a 2011 dicho país contaba con 17 plantas. Por la inseguridad y el peligro que puede llegar a presentar esta tecnología no solo durante su operación sino también en la disposición finales de las partes implicadas, el gobierno alemán decidió erradicar completamente para el año 2022 a las centrales nucleares de su sistema integrado de generación (Breidhardt, 2011). Por otro lado, tras el Protocolo de Kyoto, en Europa se instauró un mercado de emisiones que promueve la disminución de emisiones de GEI al tratar dichos gases como *commodities* intercambiados en el mercado bursátil entre entes que capturan o evitan emisiones y compradores o emisores de GEI. Bajo este esquema se benefician las figuras que buscan contrarrestar emisiones por la generación energética alemana (calor y electricidad) dado que es el origen de tres cuartas partes del total de emisiones. De esa manera, constantemente los emisores puedan comprar y vender autorizaciones de descarga de estos gases y en caso tal de no cumplir con los niveles máximos

autorizados, se pueden imponer multas de más de 100 euros por tonelada excedida en emisiones e incluso de 500.000 euros por reportes fraudulentos (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2018).

#### 4.2. ESTÁNDARES DE SOSTENIBILIDAD Y ENERGÍA

Alemania por su ubicación geográfica requiere para el confort de los habitantes el uso frecuente de calefacción, medida que representa el mayor consumo energético de los edificios (Umwelt Bundesamt, 2016) y donde generalmente se utiliza para este fin combustibles fósiles por su tradicional bajo costo comparado con otras tecnologías. La sociedad alemana vive en su mayoría en casas independientes o de dos familias que fueron construidas hacia inicios de la segunda mitad del siglo XX en donde no se contaba aún con requisitos ni siquiera laxos que demandaran una normativa de aislamiento mínimo que compensara hasta cierto punto el consumo energético por calefacción. Fue hasta los años setenta en donde se publicó la primera normatividad en promover el cuidado de la energía para la calefacción en edificios y a partir de este momento, se ha venido actualizando frecuentemente con el fin de procurar un consumo cada vez menor de los recursos energéticos primarios como se aprecia en la Figura 4.

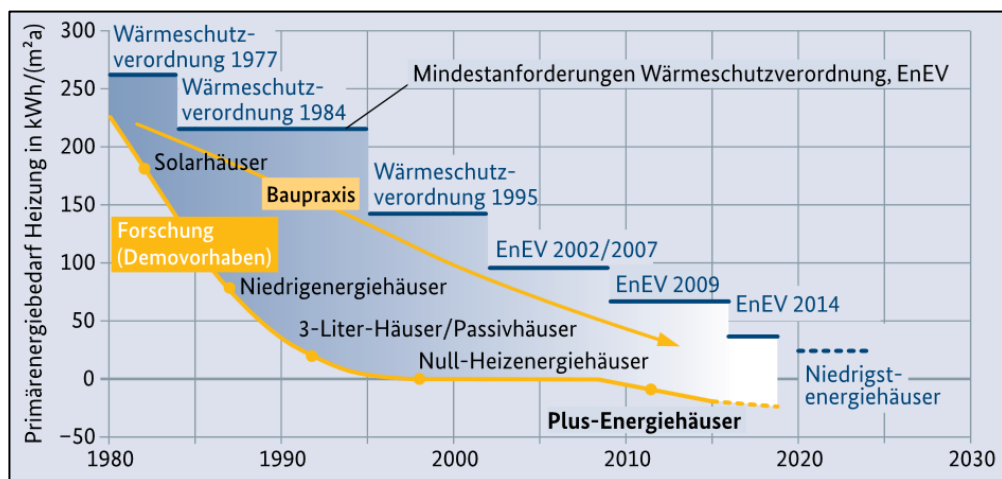


Figura 4. Evolución de requerimientos de energía primaria para calefacción de edificios por metro cuadrado

Fuente. (BMUB, 2018)

Con el fin de promover la renovación de edificios enfocada en la reducción de energía para su operación, el gobierno alemán ha estado enfocándose en la divulgación de información y apoyo financiero al otorgar por medio de un banco propio para el



desarrollo creado después de la segunda guerra mundial (KfW), tasas de interés llamativas para que los interesados puedan remodelar de una manera más económica sus construcciones o construir nuevas que impliquen una disminución en la necesidad de consumo de estos energéticos (KfW, 2018). El gran reto en Alemania para reducir el consumo energético de edificios se encuentra en la remodelación más que en la construcción de nuevos bienes inmuebles. Dado el alto precio de la propiedad raíz, la mayor parte de la sociedad alemana vive en casas alquiladas. Las remodelaciones en pro de la disminución del consumo energético tendría que pagarlas por tanto el dueño del inmueble quien no vería los beneficios directamente dado que este servicio es cubierto mes a mes por el arrendatario. El reto en este caso más que de creación de vías para la financiación o incentivos financieros, es de carácter ético cuando la meta radica en demostrar los efectos positivos para el bienestar de la sociedad que estas adecuaciones promueven.

Este interés en reducir cada vez más el consumo de energía necesario para la operación de edificios no es común solo en Alemania sino en la totalidad de la UE. Tales iniciativas han llegado a tener tanta importancia para los gobiernos de dicho continente que incluso desde el año 2010 la UE hizo pública la directriz para que en el año 2020 todos los edificios de vivienda que se vayan a construir tienen que tener un “consumo energético casi nulo” por medio de la generación de energía *in situ* con fuentes renovables para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación y demás instalaciones técnicas del edificio. Iniciativas como esta pretenden cambiar totalmente el paradigma del suministro y gasto de energía para las viviendas en Europa partiendo del punto de que el 40% de la energía es utilizada en este sector y que el 75% de los edificios actuales son clasificados como altamente ineficientes (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2010).

Dado que la definición de consumo energético “casi nulo” es un término relativo o difuso desde su planteamiento, se determina que cada país describa según sus capacidades y condiciones ambientales, valores y metas a optar. Un estudio contratado desde el órgano ejecutivo de la Unión Europea intenta aproximar un estándar de “casi nulo” para diferentes zonas climáticas del territorio como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 2. Definiciones aproximadas de "Edificios de consumo energético casi nulo"

Sector de consumo en edificio	Demanda de energía de Edificios con consumo casi nulo [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
Acondicionamiento de aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona 1: Catania, Atenas, Sevilla: 15-45 (oficinas) 15-30 (Vivienda)</li> <li>• Zona 2: Budapest, Milán, Viena 15-45 (oficinas) &lt;15 (Vivienda)</li> <li>• Zona 3: Paris, Ámsterdam, Londres 30-45 (oficinas) &lt; 15 y 15-30 kWh/m<sup>2</sup>a (Vivienda)</li> <li>• Zona 4: Estocolmo, Helsinki, Riga: 15-30 (oficinas) &lt; 25 (Vivienda)</li> </ul>
Agua caliente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12,5 (Casas individuales)</li> <li>• 15-20 (Edificio residencial)</li> <li>• &lt; 4 (Oficinas)</li> </ul>
Iluminación (no residencial)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6-10</li> </ul>

Fuente. (Ecofys, 2012)

Esta situación resulta de especial interés para Alemania dada su posición de líder en el mercado de la construcción por encima de países como Luxemburgo, Suecia o Singapur y el país europeo con la mayor cantidad de edificios dado que anualmente se deben construir entre 350.000 – 400.000 viviendas para suplir la demanda nacional. Con este gran nicho de mercado se incentiva la diversidad de oferta y la competencia entre constructores, arquitectos, diseñadores de espacios interiores y gerencias de proyectos que involucren edificaciones nuevas o remodelaciones teniendo en cuenta que gran parte de su infraestructura fue destruida en la Segunda Guerra Mundial. Particularmente, dado el alto consumo energético necesario para labores de calefacción, estas nuevas edificaciones adoptan conceptos de baja demanda del recurso como calefacción con bombas de calor (aumento en un 10% en los últimos 10 años) y calefacción urbana (14% más en los últimos 10 años) (Germany Trade and Invest, 2018). Igualmente, la existencia de este creciente nicho de mercado fomenta la implementación y expansión de certificados de edificios sostenibles que abarcan cada

uno intereses particulares y diseñados según razones de diferenciación, ética o cumplimiento de requerimientos legales. El ente certificador líder en este país con más de 3.500 edificaciones certificadas a mediados de 2018 es la Sociedad Alemana para la Construcción Sostenible (DGNB), luego LEED con 276 y por último BREEAM que solo evalúa edificios ya construidos.

La firma consultora Drees & Sommer encasilla esta gran cantidad de requerimientos en cinco módulos generales que dan base a dichos estándares: trato ambiental, aspecto económico, social, técnico, proceso (puesta en marcha) y ubicación del edificio. Dicha normalización radica en que los numerosos factores evaluados bajo cada una de estas metodologías de certificación pueden llegar a ser bastante diversos y al categorizarlos en estos cinco factores comunes es posible realizar una comparación objetiva de los certificados. De manera general, bajo este análisis propuesto se observa que el certificado DGNB es generalmente más riguroso y amplio que sus competidores en las diferentes categorías propuestas.

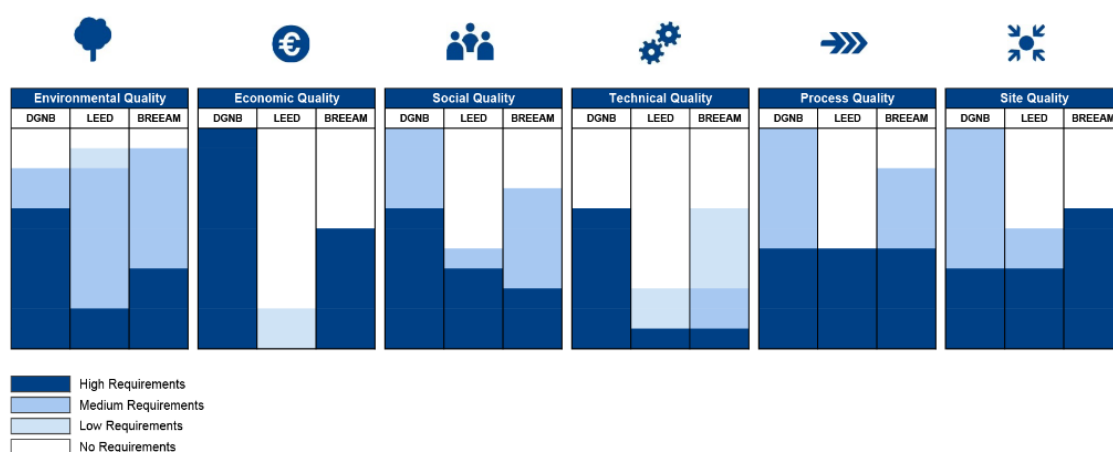


Figura 5. Comparación de certificados de edificios sostenibles

Fuente. (Kleist, 2018)

Adicional a estas certificaciones basadas en amplios conceptos de sostenibilidad, existen diferentes iniciativas que buscan contribuir, desde el sector inmobiliario, al acercamiento de la sociedad a los objetivos de la Transición Energética por medio de estándares meramente basados en el manejo de la energía. El estándar *Passivhaus* que materializó su primer proyecto en el año 1990 expuso la idea de usar en la mayor

magnitud posible medidas pasivas<sup>3</sup> para el ahorro de energía, de manera que la calefacción como mayor consumidor llegue a ser casi innecesaria. Dicho estándar por su énfasis en la envolvente de las edificaciones, reduce significativamente el uso de energía para calefacción, que generalmente se lleva a cabo con recursos no renovables. Antes del año 2015 el estándar *Passivhaus* más que hacer un esfuerzo por contribuir a la Transición Energética, buscaba de manera parcial la eficiencia energética por trabajar en la envolvente hasta que a partir de este año fueron introducidos subniveles posibles de alcanzar por medio de la inclusión de energías renovables como se observa en la Tabla 3. El objetivo final de este tipo de iniciativa y de los estándares de energía para edificios en general, no son comparables con certificados sostenibles expedidos por LEED, BREEAM o DGNB puesto que tienen finalidades con alcances distintos aunque en el camino para lograrlas cuenten con factores similares a evaluar. Estos estándares se centran como su nombre lo indica, en alcanzar un nivel particular de manejo de la energía con el fin de realizar aportes significativos a la Transición Energética representados en una marca, cédula o etiqueta obtenida, mientras que los entes certificadores mencionados presentan un amplio rango de factores a cumplir en un sistema de puntos para alcanzar diferentes niveles de sostenibilidad que satisfacen intereses distintos a los de la Transición Energética resaltando que algunos aspectos pueden contribuir.

Tabla 3. Requerimientos estándar *Passivhaus*

<b>Factor a evaluar</b>	<b>Valor</b>
Demanda de energía para calefacción	< 15 kWh/(a·m <sup>2*</sup> )
Energía primaria total para funciones domésticas (calefacción, agua caliente y electricidad)	< 60 kWh/(a·m <sup>2*</sup> )
Renovación del aire	0.6 h <sup>-1</sup>
Confort térmico	No más de 10% de las horas del año por encima de 25°C
Energía primaria renovable: Classic/Plus/Premium	60/45/30 kWh/(a·m <sup>2*</sup> )
Generación de energía renovable: Classic/Plus/Premium	-/60/120 kWh/(a·m <sup>2°</sup> )

\*Superficie útil o habitable (treated floor area)

°Superficie del edificio (Building footprint)

**Fuente.** (Passive House Institute, 2016)

<sup>3</sup> Procedimientos que son aplicados en la arquitectura del edificio y no implican el uso de equipos eléctricos o térmicos

En el año 2011 el gobierno alemán lanza a través de la “Estrategia alemana de alta tecnología (Hightech-Strategie Für Deutschland)” una iniciativa de investigación llamada “Efficiency House Plus” o “Effizienz Haus Plus” que propone un acercamiento a la Transición Energética por medio del diseño de edificios que generen más energía anualmente de la que necesitan para sus operaciones habituales. Esta iniciativa desde su definición no se restringe a tecnologías particulares para lograr este fin energético sino que busca a través de la integración de diferentes medios disponibles en el mercado lograr una combinación óptima en donde sean protagonistas tanto la eficiencia energética como las fuentes de energía no convencionales. Dicha iniciativa no pretende expedir certificados, alcanzar diferentes niveles o sumar puntos como los estándares sostenibles DGNB, LEED o BREEAM sino que busca establecer un nivel de energía que al ser alcanzado por un edificio se obtenga un estatus o distinción “Effizienz Haus Plus”.

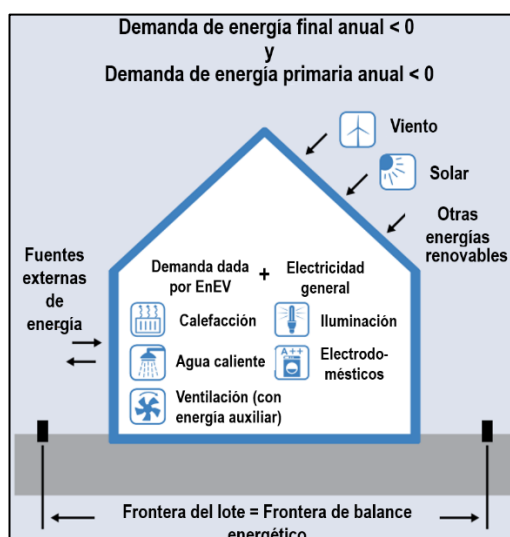


Figura 6. Balance energético de un Energy Plus Building según iniciativa Effizienzhausplus

**Fuente.** (BMUB, 2018)

Dicho nivel es en última instancia un balance de energía completo del edificio mediante el cual se demuestre un valor negativo tanto de la energía final como de la energía primaria en la etapa de operación del edificio y este balance que define a un edificio como un *Energy Plus Building* se plantea mediante el siguiente grupo de ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Demanda Neta de Energía Final} && (1) \\
 & = \textit{Demanda de Energía Final} - \textit{Generación de electricidad en sitio}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Demanda Neta de Energética Primaria} && (2) \\
 & = (\text{Demanda de Energía Final} - \text{Autoabastecimiento de Energía}) * FEP \\
 & - \text{Abastecimiento a la Red} * FEP_R
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\textbf{Generación en sitio} = \text{Autoabastecimiento de Energía} + \text{Abastecimiento a la Red} \quad (3)$$

$$FEP = \frac{\text{Demanda Primaria de Electricidad}}{\text{Demanda Final de Electricidad}} \quad (4) \leftarrow \text{Factor teórico determinado políticamente}$$

$$FEP_R = \frac{\text{Demanda Primaria de Electricidad Evitada}}{\text{Abastecimiento a la Red}} \quad (5) \leftarrow \text{Factor teórico determinado políticamente}$$

FEP (Factor de energía primaria) indica cuánta energía debe generarse en realidad para suplir la demanda final. Por tanto es teóricamente el exceso necesario para que al perderse energía en el camino, llegue lo necesario al edificio. Por su parte el  $FEP_R$  (factor de desplazamiento) muestra en teoría cuanta generación de energía primaria se está evitando al inyectar a la red la energía no consumida por el edificio mismo. Adicional a estos balances de energía, se deben cumplir también con dictámenes legales expedidos a través de la Ordenanza para la Conservación de Energía (EnEV) en temas de generación de calor con fuentes renovables de energía y envolvente del edificio. La acreditación de la evaluación de un edificio bajo la metodología de “Effizienz Haus Plus” se realiza a través de una cédula o identificación que muestra el balance energético del edificio por consumidores (acondicionamiento térmico, agua caliente, electrodomésticos) y la generación *in situ* que provee, poniendo como punto de comparación la demanda energética que tendría un edificio con la misma configuración geométrica, aspecto y uso del edificio en estudio.

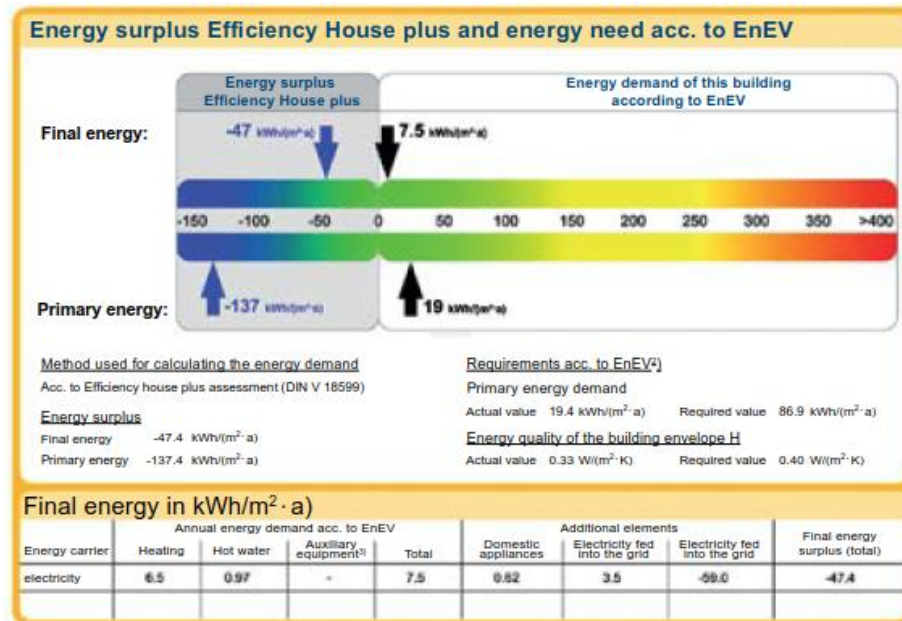


Figura 7. Ejemplo de cédula de un Energy Plus Building bajo EnEV

Fuente. (BMUB, 2018)

Así entonces, dicha metodología expone que la demanda energética se reduce considerablemente desde el diseño de la edificación cuando:

- Se tiene una forma compacta dado que la reducción en la relación área/volumen en tan solo  $0.1 \text{ m}^{-1}$  puede reducir la energía de calefacción hasta  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  y costos de construcción
- El edificio está orientado hacia el sol porque se promueve el calentamiento por medio de ventanas y la posición óptima de paneles fotovoltaicos
- Se cuenta con un buen aislamiento térmico en estructuras y ventanas puesto que reduce las pérdidas por transmisión entre un 50-75%
- La buena mano de obra reduce los puentes térmicos desde la construcción pues reduce hasta en 25% las pérdidas energéticas
- Se promueve para la reducción del consumo por electrodomésticos de hasta un 50% el uso de “top runners” o equipos de alta eficiencia

El proyecto piloto fue una casa en Berlín erigida en 2011 y a partir de este momento, el gobierno dio ayudas financieras a 37 proyectos de renovación o construcción de edificaciones que cumplieran con los lineamientos descritos para generar más energía de la que se necesita para su operación. Dichas viviendas contaron con un monitoreo de dos años por parte del gobierno no solo para evaluar el desempeño del consumo

sino con el fin de madurar la idea de los *Energy Plus Buildings*. El planteamiento de esta iniciativa es finalmente un cumplimiento de los requerimientos que exige la “Ordenanza para el Ahorro de la Energía (EnEV)” con la inclusión de una generación de energía *in situ*. Dicha ordenanza como se observa en la Figura 4 describe los parámetros mínimos en el uso de la energía para obtener la licencia de un edificio a ser construido y permitir el uso de los que ya están construidos pero por ser relativa solamente al territorio alemán con sus condiciones climáticas particulares, no es aplicable una traducción literal de los requerimientos en Colombia principalmente en materia de la envolvente compleja para el manejo eficiente del calor en interiores que podría ser evitada en Colombia dada su situación climática. El comportamiento de la energía tanto consumida como generada dentro de un *Energy Plus Building* se muestra en la Figura 8 para Alemania. El balance energético en países donde hay estaciones se realiza anualmente dado que, al haber diferencias significativas entre estos períodos del año en cuestiones de brillo solar, son críticos para la generación de energía que generalmente para estos proyectos se da por medio de la tecnología fotovoltaica. Cuando el edificio se encuentra en el hemisferio norte de la tierra, como ocurre en Alemania, se tienen menos horas de sol en los periodos comprendidos entre enero y marzo y octubre a diciembre. Por tanto, en estas épocas del año se tiene una pendiente de menor magnitud en la curva que representa a la energía generada a lo largo del año. Esta misma ausencia de sol lleva a un mayor uso de la calefacción y por tanto se incrementa la demanda energética que se ve representada por la curva gris en la Figura 8 que tiene una pendiente de mayor magnitud hacia los primeros meses del año y nuevamente hacia los últimos meses del año. La diferencia entre estas dos curvas en el último mes del año muestra entonces la magnitud de la energía en exceso que fue generada y es el motivo por el cual un edificio puede ser catalogado como *Energy Plus*.

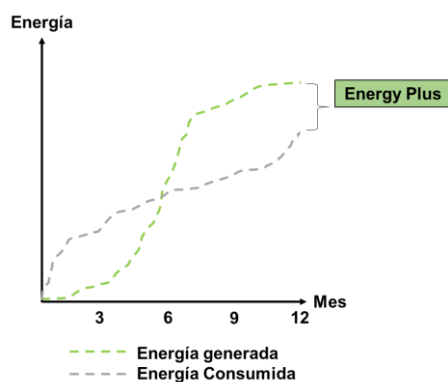


Figura 8. Balance de energía común en un *Energy Plus Building* en Europa



### 4.3. AKTIVPLUS STANDARD

Basado en la formulación de estos estándares de energía mencionados que fueron pioneros en su campo, surge el estándar *Aktivplus* que como sociedad se funda en el año 2013 a través de una figura de entidad sin ánimo de lucro. Los fundadores hacen parte de un grupo de ingenieros expertos en diseño de edificios sostenibles que, tras dicha fundación, expiden el manual oficial que busca establecer, cuantificar y cualificar los requerimientos que debe cumplir un edificio para alcanzar el nivel *Aktivplus*. Al igual que *Passivhaus* o *Effizienzhaus Plus* no está encaminado a realizar certificaciones e ir sumando puntos para una evaluación final sino que estipula varios conceptos de cumplimiento obligatorio que permiten aspirar por una distinción única. Adicionalmente, toma elementos de estándares de edificios sostenibles para desarrollar un estándar que, aunque se enfoca en temas técnicos, promueva de manera holística el mercado de edificios no solo activos energéticamente sino también sostenibles con su entorno.

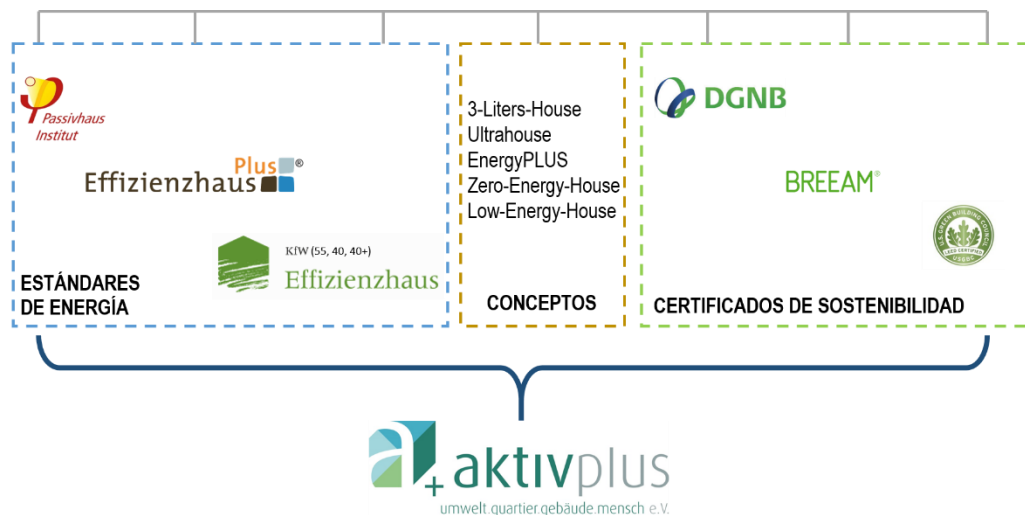






Figura 9. Bases del estándar de energía Aktivplus.

**Fuente.** Elaboración propia con información de (Nusser, 2017)

En pocas palabras, un edificio *Aktivplus* genera más energía de la que necesita evaluando al mismo tiempo temas de confort, ciclo de vida y arquitectura. Este planteamiento propone una respuesta a la pregunta “¿Cómo puede aportar el entorno construido a la protección del medioambiente sin comprometer la calidad de vida?”. La puesta en común y adaptación de diferentes estándares tanto alemanes como internacionales a través del planteamiento del estándar no es más que otra iniciativa para que el desarrollo a nivel mundial de la sociedad a través de la construcción

implique, entre diversas premisas, la Transición Energética. Particularmente, la manera en la cual este nuevo estándar pretende abordar esta situación, se centra en unir la minimización de recursos con tecnologías y métodos activos y pasivos teniendo siempre como prioridad el bienestar y confort de las personas del edificio. Existe una flexibilidad en la forma de minimizar recursos según el estándar dado que no exige niveles de envolvente o tecnologías particulares a integrar en el diseño, puesto que fija el resultado final del nivel de energía más no el camino a tomar para lograrlo. La concepción del edificio se pretende hacer lo más holística posible teniendo en cuenta no solo la fase de consumo de energía en los años de operación del edificio sino también las etapas de construcción y desmontaje (*Aktivplus e.V.*, 2018).

Es relevante destacar que parte del eje de la metodología busca nuevas formas de conceptos y tecnologías para lograr un desarrollo sostenible del entorno construido, no existe un único camino o una serie de instrucciones por medio de los cuales se plantee el desarrollo de este tipo de proyectos. Las posibilidades no se limitan a un tipo de materiales de construcción ni tecnologías específicas de equipos de calefacción, ventilación o generación de energía eléctrica por ejemplo, incentivando la formulación de combinaciones de procesos ilimitados para que ingenieros, arquitectos y planificadores den origen a un edificio o incluso hasta un vecindario activo que sean amigable con el medio ambiente.

GRUPO	CARACTERÍSTICA	NIVEL AKTIVPLUS
ENERGÍA	Demanda neta energía final	< 30 kWh/(m <sup>2</sup> a) AktivBasic <0 kWh/(m <sup>2</sup> a) AktivPlus
	Abastecimiento propio	>25%
	Desempeño del edificio	Transparencia en monitoreo
USUARIO	Calidad de luz de día	Factor de luz de día > 2%
	Calidad del aire	Requerimientos según DIN 1946
	Confort térmico	Certificado de confort térmico
	Calidad arquitectónica	Diseño, calidad de Uso y usabilidad a largo plazo*
	Retroalimentación del confort	Encuestas y medidas por 2 Años
CREACIÓN DE REDES	Movilidad eléctrica	Información*
	Smart Grid	Concepto/Interfaces*
	Smart Home	Concepto/Interfaces*
CICLO DE VIDA	Análisis de ciclo de vida	660 kg CO <sub>2</sub> por usuario al año
	Costos de ciclo de vida	Cálculos y constancia de elaboración
	Desarrollo de costos de CO <sub>2</sub>	Transparencia en operación

\*Factores informativos y no obligatorios

Figura 10. Requerimientos Aktivplus

**Fuente.** (Aktivplus e.V., 2016)

Los edificios *Aktivplus* por medio de la optimización de la demanda de energía, la generación *in situ* de energía, la promoción del confort y la interacción con el usuario llevan a beneficios para los diferentes sectores interesados tales como inversionistas, constructores, usuarios, política, industria y medio ambiente con el fin de ser efectivamente implementados en la sociedad al satisfacer diversos intereses.

Dada su creación para el uso en Alemania, los usuarios del edificio gozan de un alto confort cuando se controla de manera eficiente la calidad del aire interior, el calentamiento de los espacios interiores en invierno, la protección contra el sobrecalentamiento en verano y el fomento en todo momento de la luz natural. Esta medida de satisfacción del usuario está ligada al monitoreo después de la puesta en servicio del edificio para contar con la disponibilidad del control del rendimiento general del mismo. Encuestas periódicas a los usuarios proveen una retroalimentación constante que no solo sirve para incentivar mejoras propuestas y el nivel de confort sino también es un mecanismo de comunicación que permite difundir el principio de manera convincente.

Adicionalmente se mantiene la información disponible para los distintos interesados del consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado y por persona para una presentación transparente y comprensible. Así mismo, al estar siendo considerado el ciclo de vida completo (construcción, operación y desarme) con sus respectivos costos, es posible la toma de decisiones desde el principio para hacer una mayor inversión con el fin de reducir costos operativos o repercusiones negativas en el entorno que con su aplicación, al final del ciclo de vida resultan en bienestar en diferentes ámbitos. El primer beneficio es para el medio ambiente al tenerse un aumento en la eficiencia del uso de la energía y la generación de la misma por medio de FNCE, existe también un bienestar social cuando se logra cambiar el paradigma de la energía con tecnologías de ahorro y generación limpia de la misma cuando los usuarios entienden que “lo barato sale caro”. Finalmente, existe también un beneficio económico cuando al final del ciclo de vida se demuestra que la magnitud del ahorro en costos energéticos gracias a la integración de las tecnologías instaladas en el edificio es mayor a la inversión de capital inicial (*Aktivplus* e.V., 2018). Este ahorro energético, que está ligado directamente con la disminución de GEI trae de igual manera beneficios colaterales (no aplicados a constructores, inversionistas y usuarios) en el ámbito político dado que *Aktivplus* hace parte de la solución conjunta de ideas que pretenden llevar a la sociedad mundial a cumplir las metas de “La Transición Energética”.

Dado que la integración de la arquitectura misma del edificio con los equipos y materiales que ayudan a minimizar el impacto negativo en el medio ambiente puede llegar a ser compleja y contraria, la sociedad *Aktivplus* con su quorum de expertos brinda un apoyo a arquitectos y planificadores desde el inicio para lograr un desarrollo integral del proyecto y sobre todo para establecer en conjunto el principio de la metodología y mejorarlo al mismo tiempo.

Cada uno de los edificios que se evalúa bajo el estándar *Aktivplus* tiene como resultado final una matrícula, identificación o documento que relaciona de modo visual el cumplimiento de cada uno de los factores que son requeridos en el estándar. Adicionalmente, este tipo de cédula resume la participación de energías renovables y no renovables necesarias para la operación del edificio y un balance energético de la energía final que es sobre la cual, los operadores de red realizan el cobro.

A la fecha existen 25 edificios con diferentes finalidades planeados bajo el estándar de energía *Aktivplus* que van desde casas independientes, edificios multifamiliares, oficinas hasta guarderías. En el año 2014 se inauguró el edificio llamado “Aktiv-Stadthaus” en

Frankfurt, edificio de 74 apartamentos cuyo concepto energético y de la envolvente fue realizado por la firma alemana EGS-Plan que tiene como director general a uno de los fundadores de la sociedad *Aktivplus*. Dicho edificio, gracias a su integración de tecnologías, materiales y conceptos que se encaminan hacia la misma meta establecida bajo la metodología en cuestión, se fijó como el edificio insignia de dicho estándar de energía para edificios.

La evaluación técnica del “Aktiv-Stadthaus” bajo el estándar y su cédula se muestran en el Anexo A de este documento.



Figura 11. Aktiv-Stadthaus

**Fuente.** (EGS-Plan, 2018)

El estándar de energía *Aktivplus* trabaja en cooperación con la alianza *Active House* al compartir la meta de fomentar la construcción de edificaciones que lleven a una vida más saludable y confortable sin tener un impacto negativo en el medio ambiente aunque haya diferencias en factores a evaluar. Esta alianza es de mayor extensión internacional dado que tiene presencia en varios países europeos, Canadá, Estados Unidos y China y a través de los tres pilares: energía, confort y medio ambiente otorga de igual manera que *Aktivplus* en Alemania, una marca, cédula o identificación que puede ser usada comercialmente para demostrar el interés en aportar desde la construcción a la Transición Energética. El estándar de energía que se pretende adaptar para Colombia en este trabajo evalúa también estos tres aspectos pero difiere principalmente de la propuesta de *Active House* al ser un sistema cuya evaluación se da mediante un cumplimiento o no del factor en cuestión y no mediante la posibilidad de alcanzar diferentes niveles de cumplimiento de un aspecto evaluado. Adicionalmente, los factores que considera *Aktivplus*, aunque se integran de manera holística para fomentar edificios

que tengan una influencia positiva en el ambiente, tiene un marcado interés en el manejo de la energía, de esto que promueva particularmente edificios que generen más energía de la necesaria y sean constantemente monitoreados para una retroalimentación del usuario. El estándar internacional también promueve este tipo de construcciones pero teniendo en cuenta que es también posible tener edificios con la marca *Active House* con sistemas más sencillos de generación y uso de la energía antes de llegar a un exceso de generación que es obligatorio en *Aktivplus*. Este aliado en contraste con el estándar alemán, evalúa incluso factores de consumo de agua o ruido al menos de manera cualitativa o informativa.

## 5. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

### 5.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA

De forma paralela, es ampliamente conocido que Colombia por su privilegiada ubicación geográfica ha aprovechado los altos recursos hídricos para cubrir la mayor parte de la demanda de energía eléctrica nacional por medio de proyectos de plantas hidroeléctricas y por tanto las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la generación eléctrica son mucho menores que los países de la Unión Europea. De modo tal que la contribución normal de dichas instalaciones representan un 63.8% de la capacidad instalada nacional correspondiente a 10.974 MW en la Figura 12.

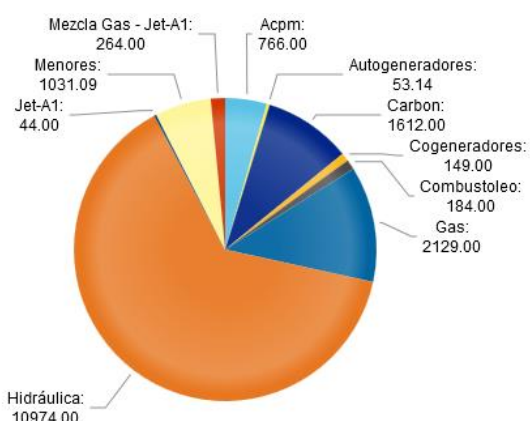


Figura 12. Capacidad del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en MW

**Fuente.** (Expertos en Mercados (XM), 2018).

Paradójicamente, el mayor consumo de esta energía primaria generada en Colombia se presenta en la “energía no utilizada” o pérdidas. Al año 2012 en Colombia solamente

cuatro de cada diez unidades de energía producidas tenían efectivamente un uso final, lo cual desemboca en un lamentable sobre costo de 5.200.000 USD (Carlos García, 2014). Es importante resaltar que estas pérdidas no son cien por ciento evitables, dado que existen procesos inherentes a la transformación y transporte de la energía en los cuales técnicamente no es posible desaparecer las pérdidas pero sí reducirlas. Otro tipo de pérdidas denominadas “evitables” o “no técnicas” están altamente relacionadas con las conexiones ilegales a las redes de distribución de energía (en forma de gas, derivados de petróleo, camiones, entre otros) que también afectan de manera evidente a esta relación que muestra qué tanto es consumible de lo producido. La reducción de estas pérdidas tanto evitables como no evitables es en última instancia un aumento en la eficiencia energética nacional, por medio de la cual se ve fomentada la productividad y la competitividad de diversos sectores como la industria, el comercio, el transporte y la vivienda. Adicionalmente, un aumento en la eficiencia energética en el panorama de distribución y generación de energía nacional, es fundamental para la reducción de emisiones de GEI y alcanzar las diferentes metas políticas o éticas que se tengan a diferentes plazos.

Aunque dicha ubicación del país es privilegiada para la generación de energía con bajas emisiones de GEI, puede ser en ocasiones un arma de doble filo. Lo anterior sustentado en el hecho que el aporte proveniente de centrales hidroeléctricas ha llegado incluso a reducirse al 40% en épocas de estiaje cuando el volumen útil de las represas de agua disminuye. La Figura 13 muestra este comportamiento en los últimos años que, al no existir otras alternativas de peso en la generación de energía eléctrica más que la generada en termoeléctricas, se obliga al incremento notablemente de las contribuciones de dichas centrales en estos casos. Las termoeléctricas en Colombia no solo sobreviven como medios que completan la demanda del Sistema Interconectado Nacional (SIN) que no se alcanza a cubrir con hidroeléctricas sino también como respaldo en caso de fluctuaciones climáticas. Apoyo que se fomentada por medio de mecanismos como el denominado Cargo por Confiabilidad que por medio de una remuneración, hace viable la inversión en los recursos de generación necesarios para que frente a situaciones climáticas adversas la demanda energética no sea desatendida.

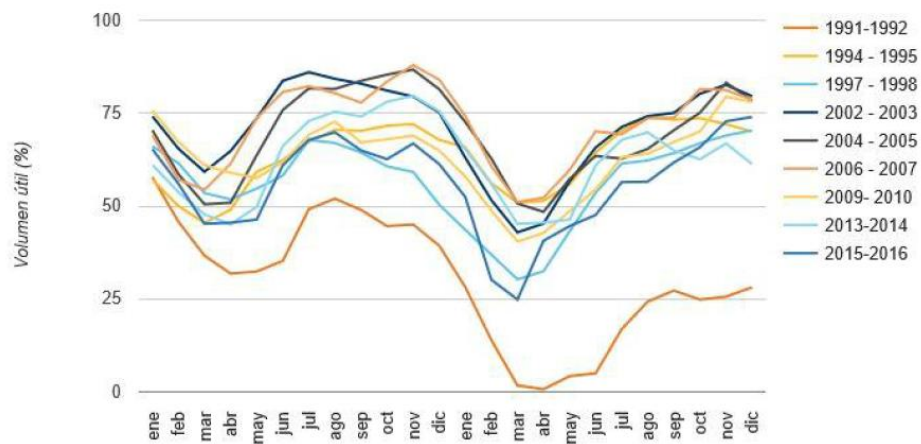


Figura 13. Seguimiento a volumen útil de embalses en Colombia

**Fuente.** (Expertos en Mercados (XM), 2016)

Colombia entonces tiene como complemento a la generación de energía eléctrica de origen hídrico y respaldo frente a épocas de sequía, un sistema alimentado casi en un 100% con fuentes no renovables basado en plantas alimentadas principalmente con gas y carbón. Esta configuración de generación promueve la emisión constante de GEI, lluvia ácida, alteraciones a ecosistemas fluviales cercanos, entre otros al ser una manera económica de generar electricidad y con recursos extraídos en el interior del país, es para diferentes interesados, la alternativa a seguir siendo implementada.

A pesar del alto componente de energía eléctrica proveniente de fuentes hídricas, en el panorama internacional se encuentra Colombia entre los 40 países con mayor responsabilidad histórica en la generación de GEI siendo responsable del 0.46% con una tendencia ascendente y que sin medidas regulatorias puede aumentar en un 50% a 2030 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Es por esto que Colombia ha asumido las premisas del Protocolo de Kyoto y luego de El Acuerdo de París para mantener ahora el incremento de la temperatura por debajo de 2°C e intentar incluso no sobrepasar 1.5°C.

## 5.2. DESARROLLO ECONÓMICO

Aunque el origen de las principales emisiones de GEI en Colombia está ligado a la deforestación y otros usos que se le dan al suelo, la industria de la energía eléctrica ocupa también un lugar importante en dichos aportes. Directamente se podrían dar aportes a la Transición energética y los pactos realizados con Naciones Unidas al



otorgar incentivos de mercado para una facilitar una viabilidad económica de proyectos tanto a pequeña como gran escala de generación energética a partir de biomasa, paneles solares y turbinas eólicas. Este aporte creciente al SIN significaría un desplazamiento gradual del uso de centrales termoeléctricas hasta un punto de uso mínimo o incluso de desuso que finalmente contribuyen a la disminución de GEI. Adicionalmente, perspectivas a mediano plazo de Colombia indican que, dado el contexto de la caída de precios en el sector mundial de hidrocarburos, se llevará a una reducción en los ingresos del gobierno colombiano por el decrecimiento que tendría el sector primario en la extracción de combustibles fósiles y por tanto para respaldar esta ausencia de beneficio económico se busca fortalecer el mismo sector primario con la agricultura, el secundario con la construcción e industria y el terciario con el comercio.

Colombia entre 2010 y 2014 aumentó 1.6 veces su crecimiento promedio de 1990-1999 en el cuál se incluye el notable desarrollo por parte de la construcción desde 2001 con un crecimiento promedio de 9.2% y por tanto, en una comparación con sus vecinos sudamericanos que se aprecia en la Figura 14, Colombia ha tenido el crecimiento económico más notable en el último cuarto de siglo. Este crecimiento a grandes rasgos está definido por incrementos en la producción de bienes y servicios reflejando un aumento en el bienestar socio-económico del país al tener los habitantes mejores ingresos. Este crecimiento en los últimos años, el nuevo escenario de bajos precios del petróleo y el crecimiento del sector terciario que contiene un fuerte componente de urbanismo son factores que deben ser tomados como punto de partida para una transición del ideario energético colombiano hacia sistemas más sofisticados y complejos que brinden economías más productivas (UPME, 2015a).

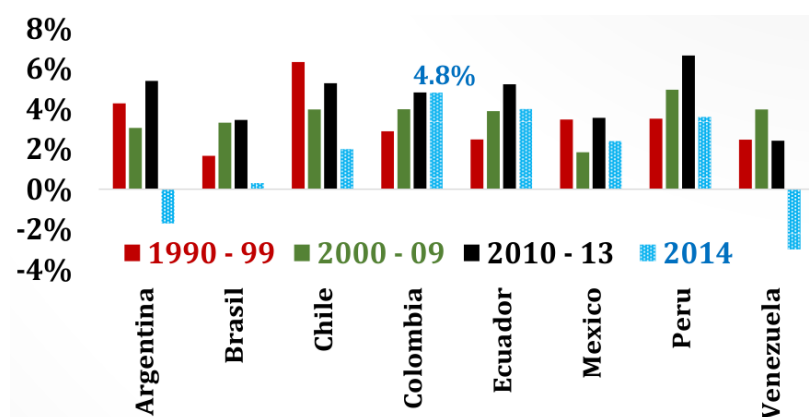


Figura 14. Crecimiento Económico Histórico en algunos países de LA

Fuente. (UPME, 2015b).

Consciente de este contexto, el Ministerio de Minas y Energía por medio de la Unidad de Planeación Minero Energética, en el Plan Energético a 2050 presentan las ideas mediante las cuáles se regirá la política energética de largo plazo del país teniendo en cuenta las expectativas de crecimiento y desarrollo económico bajo la premisa de “lograr el abastecimiento interno y externo de energía y minerales de manera eficiente, con el mínimo impacto ambiental y generando valor para las regiones y poblaciones”. Bajo esta meta, se establecen también diversos procedimientos a seguir entre los que cabe resaltar la diversificación en la canasta de generación eléctrica, promover la eficiencia energética en toda la cadena de demanda, garantizar la infraestructura de almacenamiento y transporte y sobretodo, viabilizar la generación distribuida y local a pequeña escala. La introducción y desarrollo de *Energy Plus Buildings* en Colombia abarca los parámetros expuestos por el Plan Energético a 2050 puesto que:

- proveen una diversificación en la generación eléctrica tradicional en Colombia
- disminuyen las distancias entre la generación y consumo de energía que afectan la eficiencia energética
- se les acopla la capacidad de almacenar energía (eléctrica y/o térmica)
- pueden ser la principal fuente de generación distribuida del país

Estos objetivos requieren principalmente un marco legal competente, enterado y ágil para que las directrices puedan efectivamente ser materializadas y así el gran potencial de recursos energéticos con los que cuenta Colombia pueda ser explotado de manera eficiente y sostenible. Por tanto, se verá fomentada la disponibilidad de la información para la toma de decisiones de los interesados y un incremento en el capital humano disponible para hacer más llevadero el proceso de cambios técnicos a implementar. Todo esto por medio de instituciones gubernamentales comprometidas con la agilización y promoción de estos objetivos para que puedan ser entendidos y ampliamente extendidos por la sociedad colombiana (UPME, 2015c). Como se mencionó anteriormente, la caída en el precio de la energía solar fotovoltaica ha hecho que pueda ser prácticamente competencia de la generación tradicional con otras fuentes (en casos como el colombiano, se espera esta competencia en el futuro cercano), lo que promueve su alta integración al SIN. El paso a seguir es en primera instancia el fomento a la introducción por medio de esquemas de financiamiento dado el crecimiento económico de Colombia que lleva a una capacidad de adquisición aceptable y por otro lado, el incremento en el interés social por medio del cual se pretende esparcir la motivación en la sociedad colombiana para que presione dicha implementación.

### 5.3. TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

La iniciativa de proveer a 2050 la totalidad de la energía necesaria en todo el mundo a partir del viento, el agua y el sol ha llegado a la conclusión de que el costo de la energía por estos medios será tan similar a los costos actuales y que las únicas barreras a esta transición serán de carácter social y político, más no tecnológico y/o económico. Este escenario idealizado está en capacidad de cubrir no solo las necesidades energéticas de todos los países juntos sino también de proveer beneficios a la calidad del aire, agua, sistemas ecológicos y seguridad energética a un precio razonable. El diseño o configuración óptima de este sistema proveedor de energía, aunque quizás variable con el tiempo, será el que integre con el menor costo posible las distancias de transmisión, almacenamiento energético, producción de hidrógeno y satisfaga de manera confiable e inteligente la demanda de las diferentes poblaciones (Mark A. Delucchi & Jacobson, 2010).

Aunque aparentemente se habla de un escenario utópico, es un tema involucrado con cierta frecuencia en políticas, instituciones e iniciativas de algunos gobiernos con miras a un futuro en el que la humanidad haya integrado en su ética el desarrollo sostenible. El argumento más recurrente a favor de un cambio definitivo en la manera de generar energía recae en las emisiones de GEI producto de la combustión de recursos no renovables asociados a transformar dicha energía química en calor o electricidad. Aunque este es un argumento válido dada la gran magnitud de dichos gases liberados y el efecto negativo que estos tienen en el medio ambiente, es un argumento incompleto que debe reforzarse considerando la totalidad de emisiones asociadas a estas fuentes. Es decir, evaluando el ciclo de vida de las centrales desde la construcción de las mismas y sus componentes hasta la disposición final cuando puedan caer en desuso por distintos motivos. La inclusión de la huella hídrica como factor de peso para argumentar la validez de una tecnología sobre otra para la generación de energía resulta pertinente también en este tipo de evaluaciones dado que la calidad y disponibilidad de este recurso se ven directamente afectados de igual manera que la calidad del aire y la temperatura de la tierra por ejemplo por las emisiones de GEI. El departamento Nacional de Planeación contrató un estudio en el 2017 que para las condiciones Colombianas determina valores aproximados de la huella de carbono e hídrica para diferentes tecnologías de generación energética que existen o podrían ser empleadas en el país

como punto de partida para hacer evaluaciones ambientales como lo muestra la Tabla 4:

Tabla 4. Huella de carbono y huella hídrica para diferentes tecnologías de generación energética en Colombia

Tecnología	Huella de carbono		Huella hídrica	
	kg CO <sub>2</sub> eq/MWh		m <sup>3</sup> /MWh	
	Min	Max	Min	Max
Hidroeléctrica con represa	1	25	1.000	3.060
Térmica a gas	400	1.000	0,3	4,6
Térmica a carbón	600	2	0,3	8,0
Hidroeléctrica filo de agua	1	25	1,1	500
Térmica con líquidos	500	900	0,8	6,6
Nuclear	10	210	-	5,2
Biomasa	10	140	174	1.805
Fotovoltaica	10	200	-	1,0
Solar térmica	10	220	0,4	7,5
Geotérmica	12	190	-	2,8
Eólica en tierra	1	50	-	0,1

**Fuente.** (enersinc, 2017)

Bajo el esquema de generación en Colombia, en donde para el sector eléctrico se tiene una predominancia de centrales hidroeléctricas, se tiene una huella de carbono baja (la mayor cantidad de gases orgánicos en esta tecnología provienen de la biomasa liberada del fondo de represas) pero este resultado muestra en contraparte una alta huella hídrica con respecto a otras tecnologías que proviene principalmente de la evaporación de dicha agua represada.

En países europeos donde se han desarrollado proyectos de *Energy Plus Buildings* se cuenta generalmente con condiciones climáticas similares en la totalidad de los diferentes territorios a diferencia de Colombia donde existe una alta pluralidad de condiciones ambientales que intervienen en estos proyectos principalmente en cuestiones de temperatura y humedad. Aunque Colombia cuenta con un gran potencial para el desarrollo de este modelo de construcción sostenible por su alta radiación solar anual, condiciones climáticas, crecimiento económico e interés en la diversificación de la canasta energética, existen diferencias en el potencial de desarrollo de estos proyectos según las diferentes zonas del país. Por ejemplo territorios donde la radiación

solar es particularmente elevada lo cual promueve tanto un aumento en la generación de energía con ciertas tecnologías pero a su vez, promueve un mayor consumo energético para el acondicionamiento térmico por altas temperaturas. Otras zonas como como Medellín o Bogotá de temperatura media histórica de 12°C y 23°C respectivamente, se ha contado tradicionalmente con la ventaja de la baja necesidad de instalación de equipos de acondicionamiento térmico para alcanzar niveles de confort en el interior de las instalaciones. El uso de estos equipos cuando las condiciones ambientales los requieren, pueden representar el mayor consumo energético en edificios de oficinas, comercio o vivienda. Al suponer una implementación de este modelo de energía para edificios en diferentes ciudades del país, se identificarían diferentes patrones de demanda de este servicio dadas las condiciones climáticas y económicas del lugar de desarrollo de la iniciativa. Incluso podrían notarse tres ventajas generales de antemano que alientan la introducción de esta metodología en el territorio colombiano como la alta radiación solar, grandes áreas que no requieren equipos para el acondicionamiento térmico y omisión en el uso directo de combustibles fósiles cuando el acondicionamiento térmico es necesario para enfriamiento.

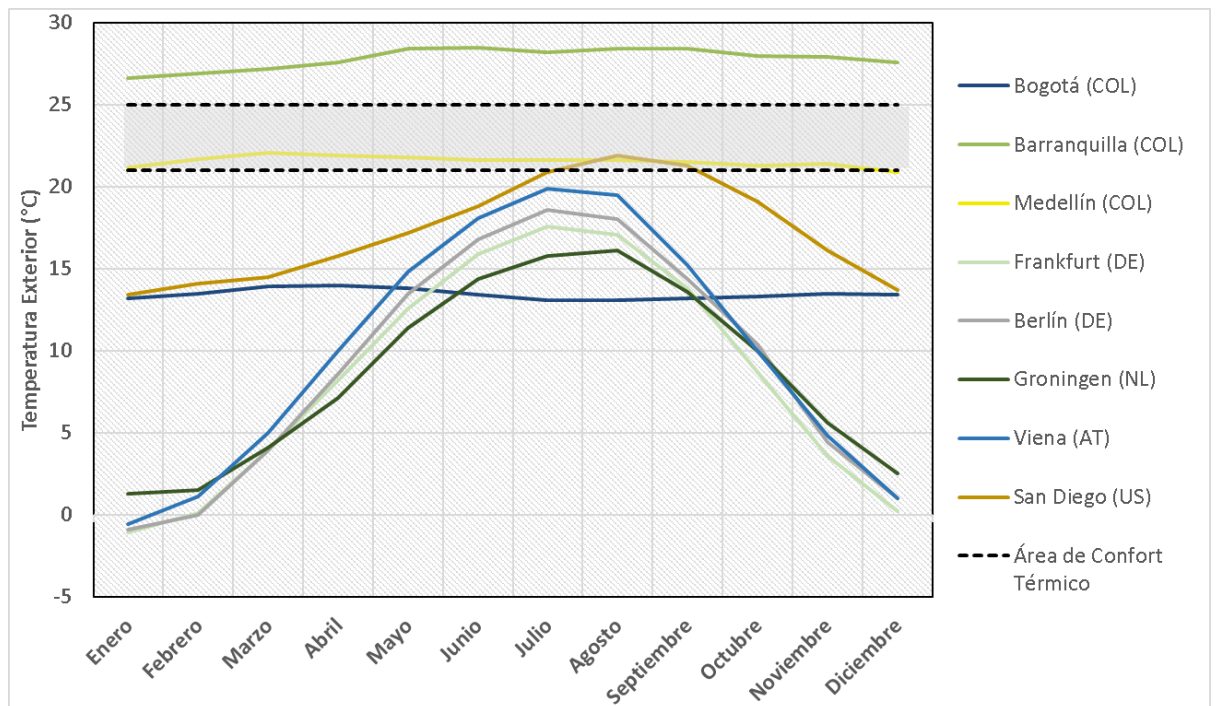


Figura 15. Temperatura media del aire exterior.

Fuente. Elaboración propia con datos de (Climate-Data, 2018)

La demanda de energía es mitigada finalmente por medio de la generación de energía *in situ* con fuentes no convencionales que para el contexto climático, tecnológico, de ordenamiento del territorio y acceso a recursos en Colombia se determina la prioridad del vínculo de la energía solar como fuente energética para el balance de los *Energy Plus Buildings* en Colombia tanto por medio de paneles fotovoltaicos como colectores u otros medios de captación para obtener energía del sol. Este tipo de contribuciones que fomentan la autogeneración en Colombia en el sector de la construcción residencial o de servicios soportan la idea de diseñar un esfuerzo para cambiar el paradigma del país que se tiene frente a este tipo de generación de menor escala y descentralizada puesto que actualmente esta se limita casi en un cien por ciento al sector industrial en donde prima el uso de recursos no renovables (combustión de gas natural) (Energinc, 2017a).

Tabla 5. Tecnologías de energías renovables en Medellín

<b>Tecnología con fuentes renovables</b>	<b>Viabilidad en Energy Plus Buildings en Colombia</b>	<b>Nota</b>
Turbinas eólicas	No	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de viento disponible &lt;5 m/s</li> <li>• Alta necesidad de espacio</li> <li>• Generalmente por fuera de frontera del sistema (lote)</li> </ul>
Geotérmica (electricidad)	No	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pocos estudios en Colombia sobre tecnología</li> <li>• Perforaciones profundas pueden alterar topografía</li> <li>• Necesidad de cercanía a fuentes de calor natural intensivo</li> </ul>
Geotérmica (calor)	No	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En climas templados puede usarse aire como fuente energética para bombas de calor</li> </ul>
Biomasa	No	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largos trayectos de transporte de material prima</li> <li>• Según proceso de aprovechamiento, puede no ser CO<sub>2</sub> neutro</li> <li>• Grandes espacios para instalaciones</li> </ul>
Undimotriz	No	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No disponibilidad de recursos hídricos</li> <li>• No viabilidad económica de tecnología</li> <li>• Fuera de frontera del sistema (lote)</li> </ul>
Solar térmica	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de misma área para solar térmica o fotovoltaica</li> </ul>
Solar fotovoltaica	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de misma área para solar térmica o fotovoltaica</li> </ul>

El Ministerio de Minas colombiano incluso considera entre los posibles futuros escenarios a 2050 la posibilidad en la cual se reemplazan energéticos en todos los sectores y usos donde sea posible por electricidad. Adicionalmente, se consideran dos vías para la generación de dicha electricidad de uso final: a partir de fuentes convencionales y no convencionales de energía teniendo para este último escenario futuro la menor cantidad de energía primaria necesaria a nivel nacional al año 2050 proyectado en la Figura 16.

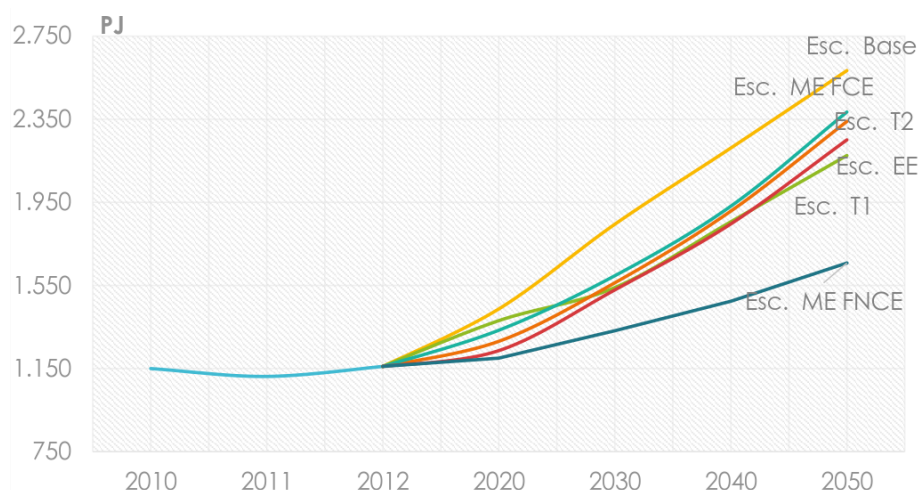


Figura 16. Energía Primaria requerida para transformación

**Fuente.** (UPME, 2015d)

La rentabilidad económica de las diferentes tecnologías para la generación de energía predomina generalmente frente a la rentabilidad ambiental como factor decisivo para su implementación en diferentes países y se discrimina como el costo de cada unidad energética producida bajo la ecuación conocida como LCOE (Office of Indian Energy, 2015) por su nombre en inglés “Levelized Cost of Energy”:

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (6)$$

$I_t$  = Inversión en año  $t$

$M_t$  = Mantenimiento en año  $t$

$F_t$  = Costo de combustible en año  $t$

$E_t$  = Generación eléctrica en año  $t$

$r$  = Tasa de descuento

$n$  = Vida del sistema

Los costes de inversión particularmente en proyectos de paneles fotovoltaicos son aún en diferentes proyectos elevados a comparación de otras tecnologías de generación

pero es de especial interés para esta situación el hecho de que el precio de instalación viene disminuyéndose con una alta rapidez que incentiva cada vez más la competencia de esta fuente frente a las convencionales. Incluso, este desplome de costos en proyectos de energías alternativas con referencia al año 2009 en donde los módulos solares fotovoltaicos han bajado en un 80% su precio y las turbinas eólicas un 40% (IRENA, 2018b). Este comportamiento mostrado en la Figura 17 muestra también que el costo unitario de generación eléctrica por medio de fuentes renovables ya es en muchos casos económicamente comparable con la producción por medio de combustibles fósiles. Por tanto, la participación rezagada del continente en la capacidad instalada mundial de paneles solares fotovoltaicos aporta tan solo un 16% frente a un 34% que tiene Europa teniendo en cuenta que presenta un potencial mucho menor pero que se ven fomentados estos proyectos por el alto precio de la energía con el método de generación tradicional que presentan (International Energy Agencia, IEA, 2018). Adicionalmente a los motivos económicos, intereses específicos gubernamentales llevan al fenómeno de la escasez económica (posteriormente tratada en este trabajo) que refleja un potencial subutilizado en el uso de energías renovables no convencionales en Sudamérica con la atenuante que en los últimos años viene una creciente implementación.

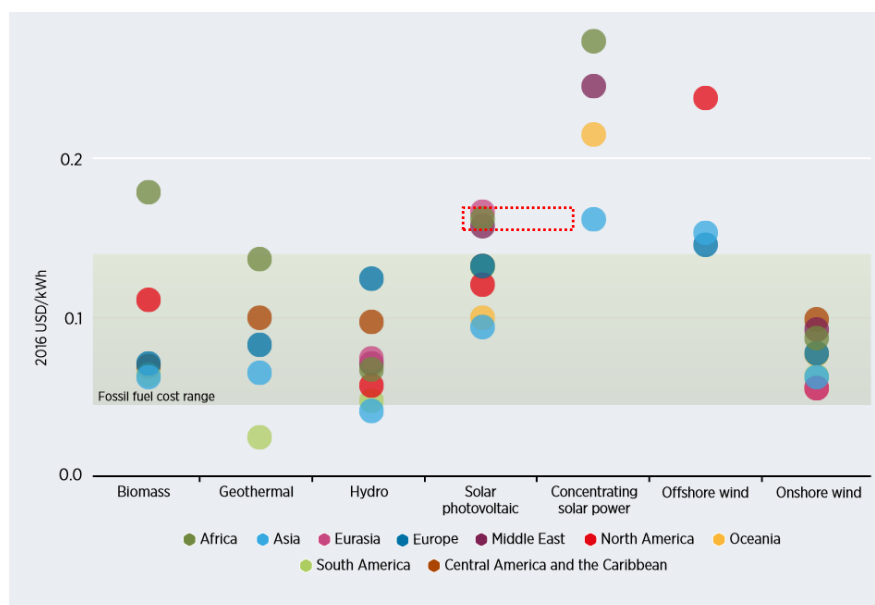


Figura 17. Costo de generación de electricidad por tecnología y zona

Fuente. (IRENA, 2018a)



En el estudio realizado por Carbon Trust (oficina de consultores que tiene como meta acelerar la transición a una economía mundial baja en carbono) en Colombia, se realiza un análisis imparcial de la evolución de las FNCE y asegura que con excepción de biomasa, las diferentes tecnologías incluidas en el estudio necesitan incentivos adicionales a los obtenidos actualmente en el país (Ley 1715 de 2014) para alcanzar rentabilidad si no son consideradas las externalidades (Carbon Trust, 2015). Dichos factores a ser incluidos son elementos con efectos colaterales positivos o negativos que normalmente no se consideran en análisis financieros al no estar reflejados explícitamente en el precio de mercado de los bienes o servicios que en este caso son FNCE. Según el estudio, se sugiere esta inclusión de externalidades en el balance financiero, con el fin de alcanzar un punto en el cual la integración de FNCE en Colombia mediante la Ley 1715 pueda ser realmente atractivo para inversionistas y se incentive la ejecución de estos proyectos. La metodología descrita cuantifica los siguientes costos de factores positivos para los proyectos con FNCE:

- ahorro de materia prima y transporte para generación con termoeléctricas
- reducción de emisiones de GEI (incluyendo asociados a hidroeléctricas) o la venta de Certificados de Emisiones Reducidas
- reducción en costos de tratamientos médicos por problemas de salud
- creación de nuevas empresas y empleos asociados a satisfacer este nuevo nicho de mercado.
- Plan de Manejo Ambiental más económico que para termo e hidroeléctricas
- exención de pago de servicios ambientales

Dado que en las externalidades se contemplan también factores que desfavorecen los proyectos de FNCE, se cuantifican también en qué nivel se desfavorecen indirectamente las inversiones en estos proyectos al incluir costos de:

- conexión a la red
- balance de la red (para manejo de fluctuaciones energéticas)
- refuerzo de la red (para manejo de fluctuaciones energéticas)
- costos de reserva cuándo no hay viento suficiente o durante la noche

Se concluye con el estudio que, aunque estas externalidades no sean pagadas directamente por el inversionista son factores que pueden ser decisivos a la hora de considerar rentable una un proyecto en FNCE o eficiencia energética impulsado por los beneficios de la Ley 1715.

Desde 1993 hasta 2017 se ha expedido de manera casi anual el Plan de Expansión de Generación y Transmisión por parte la UPME que plantea los posibles escenarios que podría tomar el país en los próximos años en materia de expansión y transmisión de energía. Aunque dicha contribución es de carácter informativo, se supone que el Gobierno apoya proyectos orientados hacia dicha expansión por medio de la expedición de Resoluciones. Se expone que la demanda de energía en Colombia está cubierta teóricamente hasta el año 2021 con la capacidad instalada actual, por lo cual es necesario el crecimiento en la generación de energía en un orden entre 4.2 y 6.6 GW con un potencial total de todas las regiones del país que asciende a 15 GW (UPME, 2017b). El mayor potencial previsto para la expansión de la generación de energía en Colombia para suplir la demanda, se basa en plantas de paneles fotovoltaicos a gran escala o mayores a 1MW con una instalación teórica de 5.8 GW y en el quinto lugar en cuanto a expansión, se encuentra la generación con solar distribuida que bien podría referirse a instalaciones en construcciones comerciales, residenciales o industriales. De esta manera, se haría un cambio notorio pero gradual en la manera de producir energía en Colombia, al punto de que dicha generación energética con fuentes renovables convencionales sobrepasaría el aporte de las no convencionales.

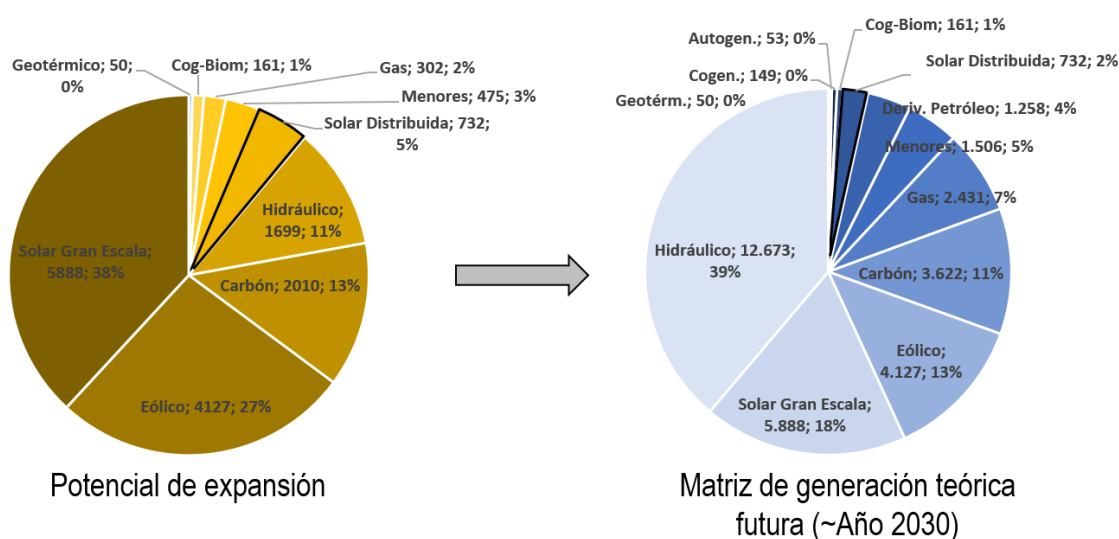


Figura 18. Expansión de generación en MW.

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (UPME, 2017b)

En la actualidad, tras ser el gobierno consiente de la necesidad por tener una transición energética en el país por motivos de cubrimiento total de demanda, calidad del aire, omisión directa de GEI, entre otros aspectos previamente mencionados, se han

expedido fomentos formales que directamente apoyan la inversión en proyectos de autogeneración de electricidad con paneles fotovoltaicos. Para este fin se escribe la Resolución 030/2018 de la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), por medio de la cual es posible que la sociedad civil asuma un rol de proveedor de energía al venderle su generación a los operadores de red. De manera mundial, iniciativas como esta han llevado a cambios políticos y culturales que promueven significativamente a la introducción de estas formas de generación de energía que llevan a presionar al mercado para aumentar la oferta de estos bienes. Este fenómeno se extiende también hacia la investigación con el fin de aumentar el abanico de posibilidades en el mercado, abre nuevos negocios que llegan a más sectores interesados para abrir finalmente una larga competencia de manufactura, distribución, instalación, planeación y dirección de proyectos que incluyan dichos equipos. Finalmente, el mayor beneficio lo recibe el cliente dado que esta pujanza entre ofertantes por tener la posibilidad de satisfacer las necesidades establecidas, ha hecho que el precio de esta tecnología se desplome aceleradamente (Figura 19) al punto de tener actualmente el menor precio de venta histórico. Así, será más rentable para el inversionista aprovechar los beneficios que conlleva la implementación de estos equipos y ser partícipe de la transición energética.

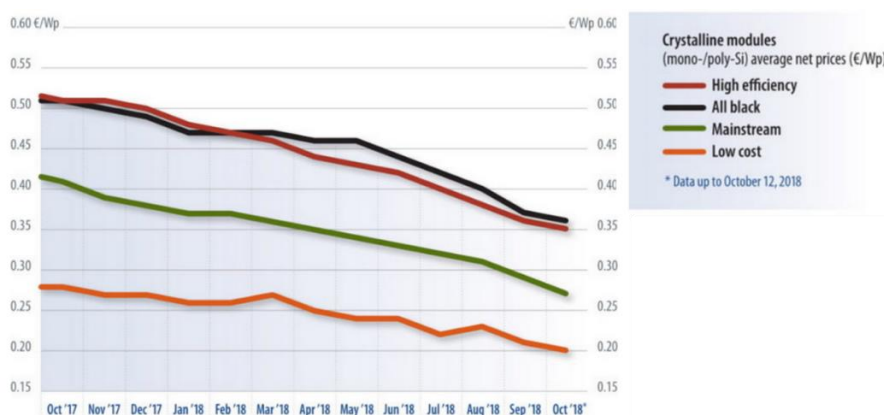


Figura 19. Precio de venta de módulos solares fotovoltaicos

**Fuente.** (PV Magazine, 2018)

En contraposición a esta caída en precios de la tecnología fotovoltaica que supone inversiones de menor magnitud para estos proyectos y tiempos de retorno de inversiones, se da en Colombia el fenómeno conocido como “escasez económica” que no se refiere a una falta absoluta de un bien o un servicio, sino concretamente al hecho de no tener la posibilidad de conseguir lo deseado con los medios que se cuenta. Se presenta ante la disponibilidad de un recurso específico pero dado el entorno o las

condiciones dadas, tener la obligación de elegir entre ese recurso u otro también deseado pero no ambos, lo que lleva a un conflicto de intereses. Por medio de este fenómeno se da paso siempre a escenarios de establecimiento de prioridades o toma de elecciones frente a distintos bienes, proyectos o servicios disponibles. Un caso puntual de este tipo de escasez es la llamada “Economic water scarcity” o escasez económica del agua causada generalmente en África por la falta de inversión, interés y capacidad humana en infraestructura para satisfacer la demanda de este recurso en áreas donde las poblaciones no pueden optar por un acceso adecuado del mismo (The Water Project, 2018). Para abordar este tipo de problemas, más importante que una inversión monetaria es una intervención social y política en el asunto. No es novedad decir que Colombia cuenta con dos ventajas comparativas dada su ubicación geográfica: abundancia de recursos hídricos, solares y agrícolas para la generación de energía limpia y condiciones climáticas que, comparada con diversos países, hacen que se requiera en menor medida el recurso energética en edificios principalmente por el relativo bajo uso de acondicionamiento térmico para las labores de la sociedad. Es así como Colombia tiene una escasez en el tema de generación y uso eficiente de la energía dado que siempre ha vivido en abundancia y el manejo energético no ha sido un tema que tradicionalmente haya sido fundamental o característico del gobierno del país. Dicho desaprovechamiento del potencial puede apreciarse en la siguiente tabla en donde países que cuentan con una radiación solar mucho menor que la que llega a Colombia, han venido realizando esfuerzos en pro de la Transición Energética por medio de la instalación de granjas, pisos y techos solares. Es importante notar que Colombia con su sistema de generación eléctrica ya cuenta con una generación de baja en emisiones de GEI pero cuenta con las dos desventajas de ser poco diversificada (aprox 70% hidroeléctricas y 30% termoeléctricas) y altas fluctuaciones por sequías que incentivan el aumento en el uso de termoeléctricas.

*Tabla 6. Aprovechamiento de radiación solar para proyectos fotovoltaicos.*

<b>País</b>	<b>Capacidad instalada (GW)</b>	<b>Radiación solar (kWh/m<sup>2</sup> · a)</b>
Japón	49	1.500 - 1.750
Alemania	42	900 - 1.200
Inglaterra	13	750 - 1.100
Francia	8	1.100 - 1.750
Colombia	0.03	1.100 - 2.100

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (IEA, 2018) y (World Bank Group, 2018)

El bajo aprovechamiento de este recurso puede ser en parte explicado por la ausencia de un marco legal que promueva a través de beneficios económicos y sociales la introducción de proyectos que adopten estas tecnologías. Aunque gradualmente en el contexto colombiano se ha estado definiendo un entorno apto para la Transición Energética, en su elaboración por medio de leyes se han encontrado diversos tropiezos legales que disminuyen la inercia de los proyectos a materializar principalmente por largos procesos burocráticos por los cuales deben estar sometidas dichas iniciativas para lograr una aceptación. Adicionalmente, la abundancia de recursos para la generación (más del doble de los recursos necesarios para la energía interna son exportados en forma de carbón y petróleo y dicha abundancia lleva a bajos precios de energía en el interior) y la ausencia de temperaturas incómodas en diferentes zonas del país son factores que han ido posponiendo el interés por crear un nicho de mercado en el manejo consciente de la energía en edificios que es el centro de este trabajo.

La siguiente representación gráfica involucra el comportamiento de los últimos años del consumo energético en el sector residencial para Alemania y Colombia. Dicho factor es dependiente de los hábitos de consumo y la capacidad adquisitiva de las personas pero sobre todo del tamaño de la población. Al exponer al mismo tiempo dicho consumo a través del tiempo con el crecimiento o decrecimiento de la población en los cuadros superiores (izquierda para Colombia y derecha para Alemania) se pone en evidencia dicha dependencia por lo cual se normaliza el comportamiento del consumo por cada millón de habitantes en las gráficas inferiores. En este caso, se identifica que en Colombia cada año crece en mayor magnitud la demanda energética en viviendas frente al crecimiento de la población o la misma cantidad de personas necesitan de un consumo mayor de energía para sus casas mientras que en Alemania se evidencia que gradualmente esta demanda ha venido reduciéndose en este sector. Dicha reducción puede tener dos principales razones: en primera instancia, en Alemania desde la década de los setentas se vienen implementando medidas que reduzcan la demanda de calefacción en edificaciones (dado que representa el mayor consumo en el sector) y por otro lado, existen diferentes iniciativas que promueven financieramente la renovación y construcción de inmuebles en pro de la transición energética.

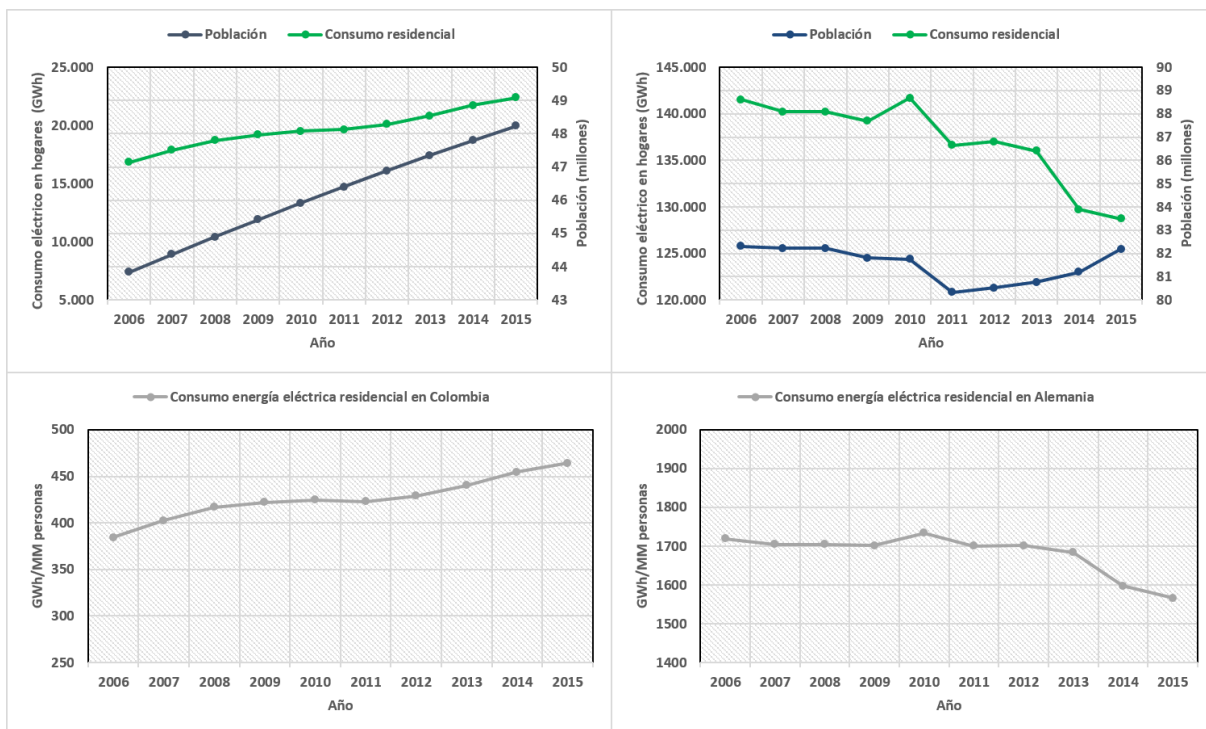


Figura 20. Consumo de energía eléctrica residencial.

**Fuente.** Elaboración propia con información de (UPME, 2017a) y (Umwelt Bundesamt, 2016)

De manera paralela, mientras Alemania se preocupa por disminuir la demanda de este servicio, Colombia muestra un comportamiento totalmente opuesto dado que históricamente ha contado con fuentes abundantes de energía en forma de recursos hídricos, carbón, gas y petróleo. Adicionalmente, dado el poder adquisitivo inferior con respecto al alemán, a los electrodomésticos en Colombia se les da un uso bastante prologado. Particularmente la refrigeración es el mayor consumidor de energía eléctrica en las viviendas cuyo consumo real se encuentra muy por encima de valores teóricos para esta labor dada la ineficiencia de estos equipos por su longevidad. Otro hecho que refuerza el crecimiento en el consumo energético por parte del sector residencial en Colombia reside en el subsidio energético que reciben los estratos socioeconómicos más bajos (1, 2 y 3) en Colombia por medio de la Resolución 079/1997 de la CREG. Dichos sectores reciben una contribución mensual en sus facturas de energía por lo cual aunque pretenda reducir los gastos de estas familias, va en contra de la reducción de la demanda energética al otorgar beneficios aun cuando se tienen altos consumos. En cambio medidas que no solo impliquen un menor costo energético mensual sino también un menor consumo energético como por ejemplo incentivos económicos o tributarios en

la sustitución de electrodomésticos tienen un efecto positivo en el medio ambiente y en las familias involucradas (Enersinc, 2017b). En el Plan de Acción Indicativo 2017-2022 del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) se contempla la iniciativa de sustituir equipos viejos de refrigeración en el sector residencial cuyo ahorro podría ascender a los 2.4 TWh/año (Ministerio de Minas y Energía, 2016a) que junto con los valores mínimos de eficiencia energética que exige la etiqueta energética RETIQ para la venta de equipos para viviendas por medio de la Resolución 41012/2015, son procesos particulares que reducen la demanda de este servicio y difunden un uso a consciencia de la energía. La cocción de alimentos en Colombia se lleva a cabo habitualmente con gas natural, gas licuado o leña (este último energético solo en zonas rurales), fuentes que son menos eficientes para proveer el calor necesario que la electricidad. En zonas urbanas, donde se centra este trabajo, la instalación y uso de equipos que operan con gas son ampliamente usados por el bajo costo de este recurso comparado con la electricidad y su popularidad es tal que el consumo eléctrico para cocción resulta prácticamente despreciable. Tanto el gas natural como el licuado presentan cadenas cortas de carbono por lo cual al hacer combustión generan una menor cantidad de GEI que otros combustibles de mayor tamaño molecular como el carbón, gasolina o aceites. Si se comparan los procesos de cocción en viviendas urbanas en Colombia con países que cocinan con electricidad, y dicho servicio es generado a partir de fuentes no renovables, esta labor resulta más limpia para el medio ambiente en Colombia al usar gas natural. Adicionalmente, teniendo en cuenta que en Colombia la energía eléctrica es en gran parte generada por medio de recursos hídricos y se supone una creciente inclusión de fuentes limpias, se suponen bajos niveles de emisiones de GEI que llevan a una consideración de un paso gradual de cocción con fuentes no renovables hacia electricidad. Esta hipótesis, impulsada por la creciente consideración de la Transición Energética en la sociedad colombiana contribuye a reducir la inercia de emisiones anuales de GEI por parte del sector residencial que asciende a 9 millones de toneladas de los cuales 4 provienen solo de la cocción (Ministerio de Vivienda, 2014).

El Anexo B contiene una comparación entre Alemania y Colombia en diferentes ámbitos contenidos en el campo de la energía al contar este país europeo con múltiples edificios catalogados como *Energy Plus* y Colombia, el país en donde se quiere introducir este concepto de construcción. En Colombia, esta demanda en las casas representa solo el 4% del total de la energía y evidencia la ventaja en la implementación de este tipo de proyectos en comparación con países donde este concepto ya ha sido implementado y

que debido a su ubicación geográfica se destina la mayoría de la generación para suplir la demanda de calefacción. En conclusión, en Colombia se reúnen un conjunto de factores que incentivan la consideración de un nuevo concepto de edificios entre los cuales se encuentran los altos niveles de radiación solar, la baja necesidad de acondicionamiento térmico (en especial calefacción), ampliación de auto generación energética a otros sectores distintos del industrial, fomento de la eficiencia energética en electrodomésticos (Etiqueta energética RETIQ) y la expedición de estándares de sostenibilidad para construcciones en Colombia.

#### **5.4. POLÍTICAS EN COLOMBIA QUE FOMENTAN ESTOS PROYECTOS**

Desarrollo sostenible, energías alternativas y eficiencia energética no son nuevas terminologías para el gobierno colombiano dado que desde hace ya más de 17 años se ha venido incentivando la introducción, uso y apropiamiento de acciones que pretendan una acogimiento de estos términos en la sociedad a través de leyes emitidas.

En el 2001 el congreso emitió la ley 697 que crea el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía no Convencionales “PROURE” para implementar de manera progresiva programas en pro de la cuantificación de niveles mínimos de eficiencia energética. Adicionalmente, en el artículo noveno el Ministerio de Minas y Energía expresa el interés de formular lineamientos para políticas, estrategias e instrumentos que fomenten el uso de fuentes no convencionales de energía y en el décimo se remite a dar incentivos a empresas que importen o produzcan piezas o equipos en el ámbito del uso de energías de este mismo tipo (Congreso de la República de Colombia, 2001). Aunque esta ley posiblemente haya servido como base legislativa para que por medio del PROURE se lleven a cabo actividades que promuevan esta transición energética, es más una muestra de que la expedición de una ley no es garantía total del cumplimiento de estas políticas públicas que estén direccionadas hacia un fin determinado. Como incentivo para la venta de energía generada con turbinas eólicas o biomasa se expidió por medio del artículo 207-2 de la Ley 88 de 2002, la exención de renta por quince años a estas empresas siempre y cuando se diera trámite, obtención y venta de certificados de emisión de dióxido de carbono (CERs) y que al menos el 50% de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados fueran invertidos en obras de beneficio social en la zona donde se diera la generación, lo cual minimizó el interés de inversión en estos proyectos dada la reducción en lucro económico.



Por medio del PROURE se determinaron valores mínimos de ahorro de energía para cumplirse en el lapso 2010-2015 definidos por los sectores residencial, industrial, comercial (público y servicios) y transporte. Cabe resaltar que desde un inicio, el PROURE estaba enfocado en alcanzar metas principalmente de eficiencia de energía eléctrica en primera instancia, determinando que el sector con un mayor potencial de ahorro de energía eléctrica en este período era el residencial con un 10.6%. Así mismo, en el sector industria se estableció como objetivo prioritario la reducción en un 3.43% el uso de electricidad y en segunda instancia tan solo un 0.25% de otros energéticos teniendo en cuenta que este sector después del de transporte representa el segundo mayor consumo energético en Colombia y se basa en un 67% en otros energéticos (gas, carbón y productos de petróleo). Esta iniciativa tuvo dos grandes problemas para su ejecución y por tanto tuvo que ser extendida su validez hasta 2016 por medio de la Resolución 4 1430/2015. En primera instancia, tan solo dos años después de entrar en vigencia el plan, por medio del primer artículo de la Resolución 0186/2012 se adoptaron como “Metas Ambientales” los objetivos de ahorro de energía a 2015 en el sector industrial y de transporte. Este reconocimiento es obligatorio para poder optar a exenciones de pago de IVA y deducción de renta hasta un 20% para así promover la renovación de tecnologías según el literal f) del artículo 428 del Estatuto Tributario. La segunda limitación tras esta tardía conversión de los objetivos para que fueran de carácter ambiental, se refiere a que no todos los sectores obtuvieron esta distinción para poder optar a los beneficios económicos. Por tanto, como se expresa en el artículo 4 del decreto 3172/2003 “no serán objeto de la deducción por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente [...] los bienes, equipos o maquinaria destinados a proyectos, programas o actividades de reducción en el consumo de energía y/o eficiencia energética que no correspondan al logro de metas ambientales” entre los cuales se encuentra la totalidad de gasodomésticos y electrodomésticos.

En el año 2014 se expide la ley 1715 con un futuro bastante prometedor para la inclusión de fuentes no convencionales de energía en Colombia dados los beneficios económicos que se obtienen al realizar inversión, investigación y desarrollo del uso de estas fuentes. Específicamente por medio de esta ley se obtiene:

- deducción hasta del 50% en el impuesto sobre la renta basado en la inversión
- depreciación acelerada de máximo un 20% anual del valor de los activos del proyecto
- exclusión de pago de IVA para bienes y servicios

- exención de pago de aranceles de importación de materiales, equipos e insumos del proyecto.

Estos cuatro pilares que llevan a un ahorro inicial de inversión y un ahorro periódico por la reducción de impuestos, supone un argumento favorable para incentivar la ejecución de proyectos en el ámbito de generación limpia y uso eficiente de la energía pero, como se ha presentado anteriormente en Colombia frente a la expedición de documentos legislativos, el hecho de la existencia de estas normatividades no asegura la efectividad en la ejecución de las mismas. La falta de reglamentación desde la expedición de la ley ha llevado a que los inversionistas e interesados en los beneficios que se enuncian cuando quisieran presentar propuestas de proyectos, encontraran impedimentos en el camino de aplicación que llevan a una alta deserción en este proceso de obtención de descuentos económicos. Incluso fue necesario que transcurrieran dos años desde la expedición de la ley, para que se hiciera pública una lista bajo la Resolución 045 donde se encuentran los bienes y servicios susceptibles de recibir una exoneración del pago del IVA y aranceles de importación. A septiembre de 2016 de 83 proyectos presentados, fueron aceptados 45 en primera instancia por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el segundo filtro para la obtención de beneficios que es revisado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) fue superado por 33 propuestas (Semana, 2017). A 2018 se tenían 370 solicitudes de certificación para una capacidad cercana a los 1.6 GW que pretenden cubrir cerca del 10% de la demanda energética nacional dentro de los cuales la mayor fuente son los centros de generación con paneles fotovoltaicos menores a 1MW (Ramírez, 2018).

En el año 2016 se expide la Resolución 41286 que adopta a nivel nacional el Plan de Acción Indicativo 2017-2022 para el desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía dado que este documento define los objetivos y estrategias que pretenden cumplir con los niveles establecidos de eficiencia energética. Posterior a esta adopción del plan, en el año 2017 se incluyeron como metas ambientales los sectores que no habían sido acogidos en la Resolución 0186/2012 para optar por los beneficios de exención de pago del IVA. Con este nuevo plan que ya acoge los sectores de transporte, industria, terciario y residencial se estipulan unos nuevos valores como metas de ahorro de energía para el año 2022 por medio de acciones y medidas concretas que, si son implementadas en proyectos, puede beneficiarse la rentabilidad económica de la inversión al ser excluidos del pago del IVA.

Tabla 7. Acciones y medidas sectoriales del PAI 2017-2022

SECTOR	ACCIONES Y MEDIDAS
TRANSPORTE	Reconversión a gas natural vehicular, GNV en transporte público de pasajeros.
	Uso de electricidad en las categorías: flota sector oficial, taxis en las principales ciudades del país, motos y automóviles y transporte público de pasajeros de las principales ciudades país.
INDUSTRIAL	Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica (Fuerza motriz, aire acondicionado, refrigeración, iluminación, calor directo e indirecto).
	Medidas de eficiencia energética en combustibles sólidos para calor directo e indirecto.
	Medidas de eficiencia energética en gas natural para calor directo e indirecto.
	Diseño e implementación de Sistemas de Gestión de la Energía, SGEEn.
TERCIARIO (COMERCIAL, PÚBLICO Y SERVICIOS)	Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica (Iluminación, aire acondicionado, motores eléctricos y mejoras de sistemas de alumbrado público)
	Mejora en el diseño, la construcción y la adecuación arquitectónica de edificaciones (incluyendo mejoramiento en la transferencia por los techos, ventanas y muros)
	Evaluación e implementación de distritos térmicos.
	Implementación de nuevos y modernos sistemas de medición.
	Implementación de SGEEn.
RESIDENCIAL	Medidas de eficiencia energética en energía eléctrica (iluminación).
	Mejoramiento de la eficiencia energética en edificaciones (pinturas atérmicas, extractores eólicos y otros medios de acondicionamiento ambiental por medios naturales).
	Implementación de estufas mejoradas de leña.

**Fuente.** (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

A través de la Resolución 0549/2015 el Gobierno de Colombia por medio del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio adopta La Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Este manual resulta de la formulación de políticas sobre renovación urbana, calidad de vivienda y construcción sostenible a la cual está comprometida dicho ministerio y establece por tanto valores mínimos y medidas de ahorro de energía y agua que deben tener las nuevas edificaciones en Colombia de diferentes finalidades. A partir de la guía que se presenta como anexo de la resolución, se definen para diferentes zonas climáticas del país y finalidades de los edificios, una línea base que sirve de referencia para los porcentajes de ahorro de agua y energía. En color rojo se resaltan los edificios de vivienda que no son de interés social en los cuales se realiza la introducción de *Energy Plus Buildings* en Colombia. Adicional a estos valores exigidos que se encuentran entre 15-45% con respecto a la línea base se proponen diferentes medidas que promueven el cumplimiento de los mismos.

Tabla 8. Línea base consumo de energía y agua y porcentaje a reducir

Energía (kWh/(m <sup>2</sup> ·a)) //Agua (l/(persona·día))	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Hoteles	96,1 // 188,5 20% // 25%	151,3 // 564 35% // 10%	132,5 // 242 25% // 35%	217,8 // 278,9 45% // 45%
Hospitales	249,6 // 620,2 35% // 10%	108,3 // 600 25% // 40%	344,1 // 438 35% // 10%	344,1 // 800 30% // 40%
Oficinas	81,2 // 45 30% // 30%	132,3 // 45 30% // 35%	318,2 // 52 40% // 45%	221,3 // 45,8 30% // 20%
Centros comerciales	403,8 // 6 l/m <sup>2</sup> 25% // 25%	187,8 // 6 l/m <sup>2</sup> 40% // 15%	187,8 // 6 l/m <sup>2</sup> 35% // 45%	231,5 // 6 l/m <sup>2</sup> 30% // 20%
Educativos	40 // 50 45% // 45%	44 // 50 40% // 40%	72 // 50 40% // 40%	29,8 // 24,8 35% // 40%
Vivienda no VIS	46,5 // 145,4 25% // 25%	48,3 // 145,3 25% // 25%	36,9 // 189,8 25% // 20%	50,2 // 174,9 45% // 20%
Vivienda VIS	44,6 // 105,7 20% // 10%	44 // 113,9 15% // 15%	34,6 // 156,7 20% // 10%	49,3 // 125,4 20% // 15%
Vivienda VIP	48,1 // 78,1 15% // 10%	53,3 // 98,3 15% // 15%	44,9 // 189,8 20% // 10%	50,6 // 110,6 15% // 15%

**Fuente.** (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015)

Cabe resaltar que para una vivienda en clima frío que no es de interés social, para cumplir la norma de edificios sostenibles en Colombia el consumo máximo de energía no puede superar 35 kWh/(m<sup>2</sup>·a). El mismo anexo tiene como modelo de clima frío a la ciudad de Bogotá en donde se estipulan temperaturas entre 12-18°C en la cual el uso de calefacción, mayor consumidor de energía en viviendas, no es ampliamente usado por la población bogotana dado que para dicha temperatura del ambiente generalmente basta con una envolvente no muy compleja y costosa para alcanzar un nivel de confort térmico.

A principios del año 2018 la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), en ejercicio de las atribuciones constitucionales conferidas a través de la mencionada Ley 1715, define los parámetros por medio de los cuales, los excedentes de la autogeneración eléctrica (<1 MW) o generación distribuida a pequeña escala (<0.1MW) puedan ser vendidos a los operadores de red. Se determinan los procedimientos a seguir, los precios de venta de energía y la documentación a presentar para realizar una conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y contribuir al abastecimiento energético del país por medio de una generación propia.

Metas indicativas de ahorro energético al año 2022 fueron adoptadas para diferentes sectores de la sociedad colombiana mediante la Resolución 41286/2016 en la cual

particularmente para el sector residencial se estima un ahorro de 56.121 TJ contadas a partir del año 2017. A través del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) que toma como base dicho documento expedido por el Ministerio de Minas y Energía, se propone particularmente en este campo la aplicación en este lapso de estándares nacionales o internacionales de construcción sostenible. Por medio de estas certificaciones o expedición de etiquetas, entre diferentes factores, se incluye el desarrollo de proyectos que permitan la autogeneración de energía con fuentes renovables con el fin de disminuir el consumo energético del sector residencial en Colombia en un 4% para el año 2022 (Ministerio de Minas y Energía, 2016b).

Un hecho que complementa la motivación de aumentar la eficiencia energética en el sector residencial es la ejecución en el país del programa de Naciones Unidas “Energía Sostenible para Todos”. Por medio del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible y fondos del Global Environment Facility se tiene estipulado reducir los GEI provenientes de la construcción al año 2030 y para tal labor, se inició con el desarrollo de un plan de trabajo que pretende alcanzar tres metas específicas: duplicar la tasa de eficiencia energética del sector de la construcción, implementar un proyecto ilustrativo y emblemático y crear una línea base con el fin de reportar un progreso anual de aumento de eficiencia energética. Según la regulación 0549/15 las emisiones de GEI se reducirán en un 25% según cálculos de la *US Agency for International Development*, lo cuál sería más que suficiente para cumplir lo estipulado en el Acuerdo de París donde se pactó una disminución del 20% para el mismo año (BEA, 2016).

## **6. CASO DE ESTUDIO**

El modelo *Energy Plus Building* en Colombia se evalúa en el presente documento para un proyecto de construcción futura en la ciudad de Medellín bajo la firma de la constructora Conconcreto a modo de introducción del concepto en el país. Dicho proyecto tiene por nombre “Contree” y plantea una respuesta puntual a la demanda de soluciones sostenibles para la construcción por medio de viviendas que, al integrar diversos factores particulares, desarrolla un nuevo concepto que será un ícono para la ciudad.

Dicho proyecto cuenta con diferentes etapas de las cuales para la presente evaluación se considera solo la primera al referirse a la construcción de dos edificios de vivienda. Cada uno de estos edificios, aunque sujetos a cambios en la planeación, contarán con una cantidad de apartamentos que oscila entre 70 y 90 distribuidos en 15 o 17 pisos. Se

tiene en cuenta que frente a interés del comprador, puede construirse una segunda planta principalmente pensada para una alcoba. Dichos apartamentos se entregan en obra gris para que el cliente tenga flexibilidad total en el diseño interior de su vivienda.

En este trabajo se denomina B1 al edificio que contará con una terraza en planta 16 y B2 al edificio cuya terraza se construirá en la planta 18. El edificio B1 contará con un cerca de 56 apartamentos de una sola planta y 14 de dos plantas y a su vez, B2 con 72 y 18 unidades de vivienda de una y dos plantas respectivamente. Sin tomar en cuenta el área de los balcones o terrazas, se tiene un área promedio de vivienda útil para los apartamentos de una planta de 82 m<sup>2</sup> y para los de dos plantas de 111 m<sup>2</sup> para un total de 14.091 m<sup>2</sup>. La distribución de los apartamentos en cuanto a orientación de las ventanas y particiones internas para habitaciones es igual en todos los pisos pares y así mismo, se tiene otra configuración de orientación y particiones que comparten todos los pisos impares.



Figura 21. Imagen digital de Contree y esquema de un piso impar

**Fuente.** (Concreto, 2018)

Este conjunto residencial de dos edificios contará entre sus zonas comunes un parqueadero cubierto de cuatro niveles, una zona activa de gimnasio spa y turco, un área de *coworking*, una estación de recarga de movilidad eléctrica para carros, bicicletas y motos y terrazas superiores para actividades sociales.

## 6.1. GENERACIÓN LOCAL DE ENERGÍA

“Contree” se encuentra aún en la definición final del diseño y concepto y por estar sujeto a cambios que puedan realizarse en este proceso, no es oportuno por el momento desarrollar solo una idea particular del modelo energético para que dicho proyecto, siguiendo la adaptación propuesta del estándar de energía *Aktivplus*, sea considerado un ejemplar de los edificios que generan más energía de la que necesitan para su operación. Es por esto que para dicho par de edificios residenciales se plantean diferentes escenarios que varían en el alcance, inversión, cubrimiento y abastecimiento de la energía. Con este proyecto se diseña el sistema de generación energética con FNCE a través del sol con paneles fotovoltaicos, cuyo motivo se encuentra expuesto en el capítulo anterior para la ciudad de Medellín. De esta manera, en el área que se tiene destinada para la construcción del proyecto hacia el sureste de la ciudad, el potencial de generación de electricidad con esta tecnología según la orientación y ubicación de los módulos (90° para fachada y 10° para techos) se muestra en la Figura 22:

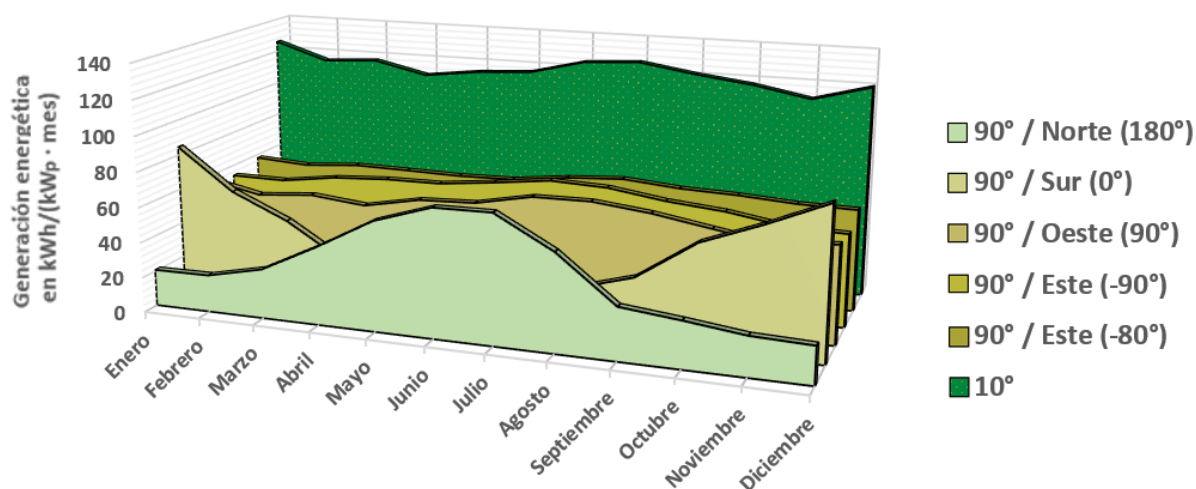


Figura 22. Potencial de generación energética mensual en Contree con sistemas fotovoltaicos.

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Comisión Europea, 2018)

En los techos se sugiere una leve inclinación de 10° que no es suficiente para disminuir la capacidad de generación de los módulos pero facilita labores de limpieza. Adicionalmente, dada la posición cercana al ecuador, la diferencia de rendimientos de un panel inclinado 10° en diferentes direcciones es prácticamente despreciable dado que varía anualmente entre 1400-1430 kWh/kW<sub>p</sub>. La generación energética que potencialmente podría obtenerse por la instalación de sistemas fotovoltaicos en dichos



edificios se muestra en la siguiente tabla por cada kilovatio instalado en las fachadas y techos en donde se evidencia que debe ser fomentada la instalación de módulos fotovoltaicos sobretodo en estructuras paralelas a la superficie (techos) por su alto factor de generación. En este caso el Edificio 1 presenta en su diseño la terraza en la planta 16 y el Edificio 2 en la planta 18.

Tabla 9. Factor de generación en diferentes estructuras de Contree

Ubicación	Dirección	Generación energética anual [kWh/kW <sub>p</sub> ]
Techos	-	1.430
Edificio 1	Noroeste (65°)	690
	Nordeste (-25°)	601
	Sureste (155°)	500
	Suroeste (115°)	660
Edificio 2	Noroeste (45°)	650
	Nordeste (-45°)	660
	Sureste (135°)	587
	Suroeste (135°)	577

Bajo el diseño actual de los edificios se han determinado diferentes estructuras sobre las cuales puede considerarse la instalación de sistemas fotovoltaicos y por medio de simulaciones realizadas con PVSOL se caracterizan los sistemas a través de factores como el tamaño, la cantidad de energía a producir, elementos de sombreado y trayectorias del sol sobre los edificios en cuestión. Los puntos en los cuales se evalúa la instalación de los módulos son específicamente el techo del corredor y cuarto de bombas del último piso de ambas torres (a), la fachada o alto de los suelos de los balcones (b), la fachada del último piso (c), el techo de los parqueaderos (d), la fachada de los parqueaderos (e) y el techo del acopio de basuras (f).

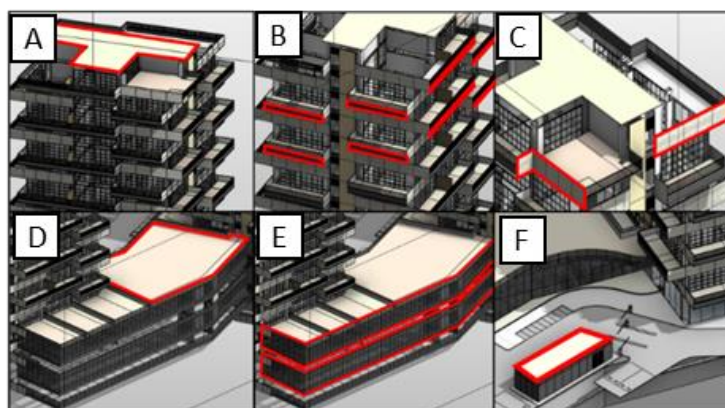


Figura 23. Ubicación potencial de módulos fotovoltaicos

El presente trabajo sugiere diferentes escenarios para la instalación de sistemas fotovoltaicos en los edificios pero la definición de dichos sistemas en términos de ubicación, tamaño y cubrimiento de la demanda son definidos por Conconcreto. El potencial de generación en los diferentes puntos seleccionados calculado por medio del *software PVSOL* se determina teniendo como base el módulo fotovoltaico policristalino JAP60S01-275/SC producido por *Ja Solar* con capacidad de 275 W<sub>p</sub> y dimensiones 1650 mm x 991 mm dada su alta comercialización en el mercado.

Por medio de la simulación se recreó el comportamiento que tendría la instalación del sistema fotovoltaico en las diferentes estructuras del edificio en términos de la cantidad de electricidad que podría generar cada hora durante un año cada sistema específico, la cantidad de paneles e inversores que se necesitan para esta labor, las sombras presentes en el sistema que afectan esta generación y la trayectoria del sol durante todo el año sobre los arreglos de paneles. Los módulos situados sobre el techo de los parqueaderos se modelan con una inclinación de 10° con respecto a la superficie y cada hilera de paneles está orientada en sentido contrario a la hilera contigua para crear una especie de picos (imagen de la parte inferior derecha de la Figura 24) que faciliten labores de limpieza por objetos que puedan caer desde los apartamentos teniendo en cuenta que dicha configuración no afecta el aporte energético.

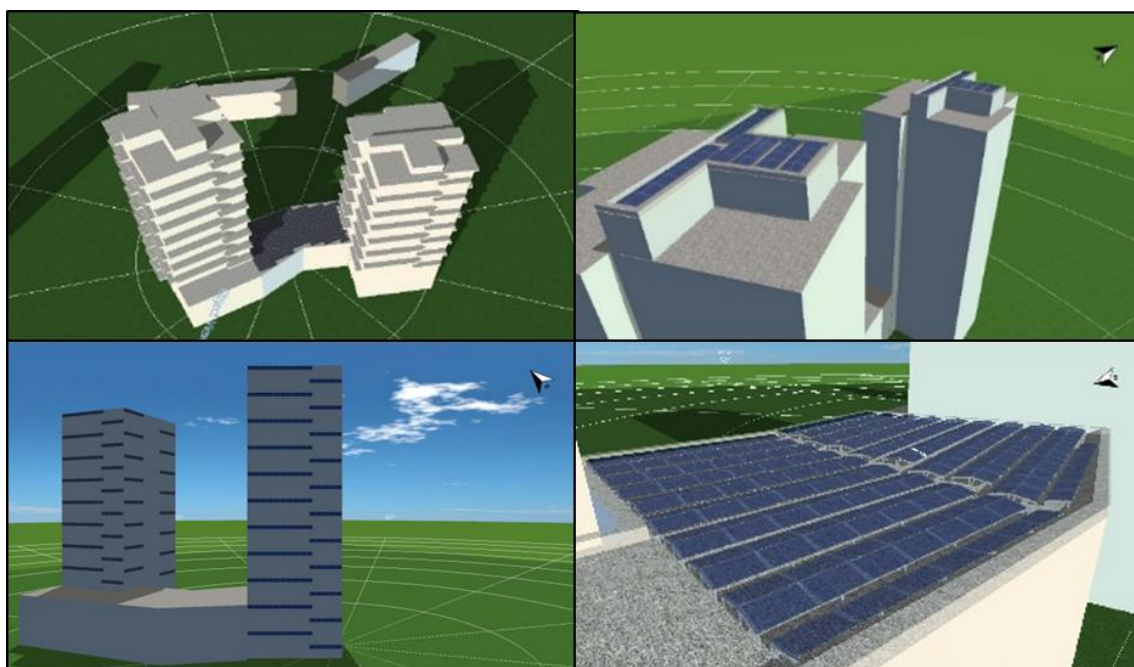


Figura 24. Modelación del sistema fotovoltaico en CONTREE

Para la ubicación de módulos en las fachadas de los balcones (imagen B de la Figura 23) se cuenta para cada balcón con una longitud entre 8,6 – 16,6 m y una altura de 0,75 m que es menor a los 0,99 m de ancho de un panel estándar si se ubica de manera horizontal. Por tanto se derivan de esta situación dos escenarios: la aplicación de paneles de menor eficiencia (165 W<sub>p</sub>/panel) pero con un ancho de 650 mm que no sobresale en tamaño o no interfiere visiblemente o el uso de los paneles estándar de 0,99 m cuyo ancho es tan solo un poco mayor a la altura disponible pero que pueden ser sostenidos por una estructura en la parte inferior como se muestra en la Figura 25. La simulación se lleva a cabo con este segundo escenario o escenario B, dado que presenta módulos de mayor eficiencia y la estética del edificio puede no verse implicada en gran magnitud por este factor.

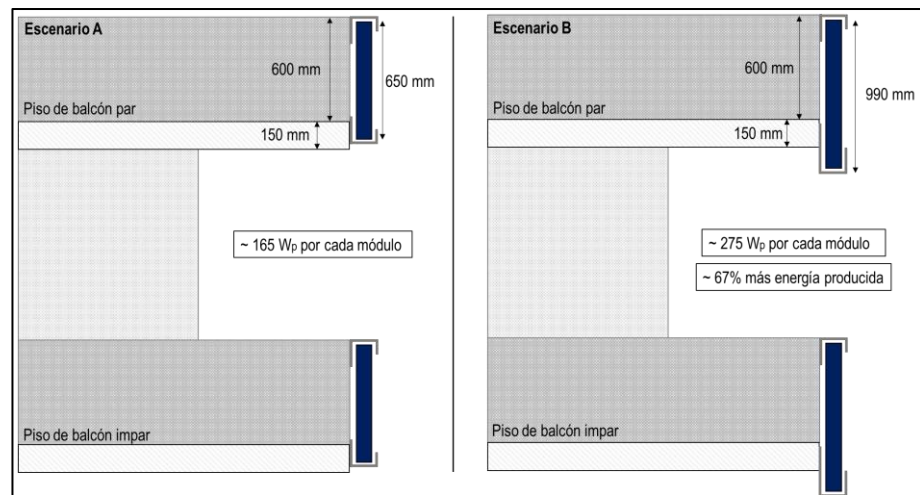


Figura 25. Escenarios posibles para ubicación de módulos en balcones (Esquema no está a escala)

Utilizando los módulos del escenario B de la figura anterior en la totalidad de las zonas potenciales del proyecto, se caracteriza cada zona con la cantidad de módulos que teóricamente sería posible instalar, la energía anual que se generaría y el factor de generación de cada kW<sub>p</sub> instalado (Tabla 10). Para el dimensionamiento interactivo del potencial a instalar de los módulos, se anexa una hoja de cálculo.

Tabla 10. Resultados de dimensionamiento de sistema fotovoltaico con PVSOL

Ubicación módulos FV	Capacidad instalada	Generación eléctrica anual	Generación eléctrica anual	Factor de generación
	[kW <sub>p</sub> ]	[kWh/año]	[kWh/m <sup>2</sup> ·año]	[kWh/kW <sub>p</sub> ]
Fachada balcones	237	161.292	11,4	682
Fachada terraza superior	29	18.128	1,3	634
Techo terraza	37	53.994	3,8	1.444
Techo parqueaderos	84	88.880	6,3	1.063
Fachada parqueaderos	128	82.494	5,9	645
Acopio de basuras	5	5.438	0,4	1.040
<b>TOTAL</b>	<b>519</b>	<b>410.226</b>	<b>29,1</b>	<b>860</b>

Esta tabla en la segunda columna supone una utilización total del área disponible para la instalación de los módulos que simboliza una generación eléctrica anual total de 410.226 GWh con un factor promedio ponderado de generación por cada kW<sub>p</sub> instalado de 860 kWh anuales que, es un factor aceptable para la mayoría de países europeos en donde se instalan proyectos con módulos fotovoltaicos en edificios generalmente por tener un alto costo energético y un mayor poder adquisitivo o incentivos gubernamentales particulares que fomentan este tipo de inversiones. Teniendo en cuenta que es un valor relativamente alto al ubicar teóricamente el 76% de los módulos en fachadas, estructuras donde al captar la radiación de manera perpendicular a la superficie, puede llegar a ser casi 2.2 veces menor que la obtenida de manera paralela a la superficie (techos), que es el cociente entre los factores en techo y fachada en kWh/kW<sub>p</sub>. Como referencia de estos altos factores de generación que se obtienen tras la simulación, el edificio más grande en Alemania bajo el estándar *Aktivplus* que se muestra en el Anexo A, tiene como factor promedio para los módulos del techo un valor de 980 kWh/kW<sub>p</sub> y en la fachada 450 kWh/kW<sub>p</sub>. El edificio que se evalúa en este trabajo por el contrario presenta en promedio factores de 1174 kWh/kW<sub>p</sub> y 666 kWh/kW<sub>p</sub> que simbolizan una generación eléctrica que es respectivamente 48% y 17% mayor por cada módulo instalado en este proyecto a comparación de un módulo instalado en la ciudad de Frankfurt donde se encuentra este proyecto.

En la Figura 26 se muestra la trayectoria del sol en tres horas del día (8:00, 12:00 y 15:00) para diferentes meses del año por medio de la base de datos *Meteonorm*, utilizada por el software para realizar esta simulación en la ciudad de Medellín.

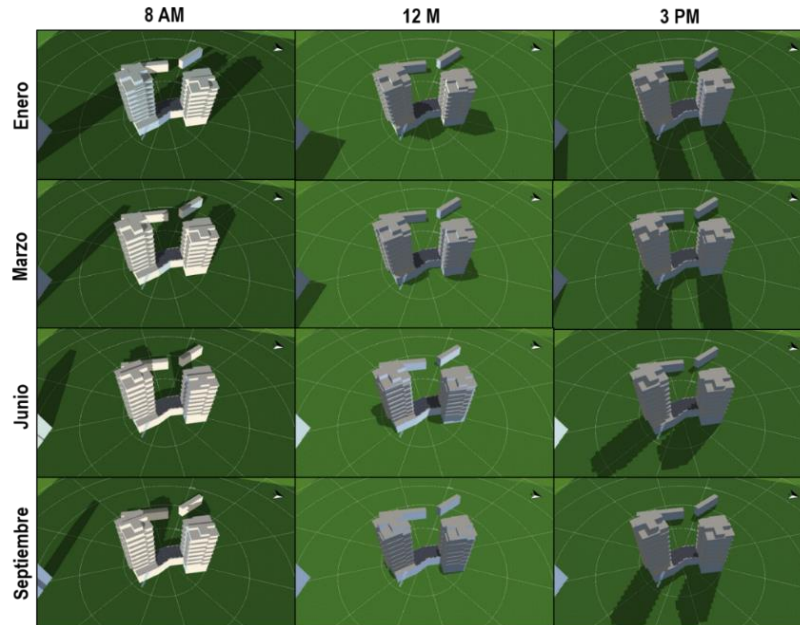


Figura 26. Trayectoria del sol sobre Contree

El potencial en CONTREE para instalar una planta fotovoltaica se determina por medio de simulación de una cobertura total con módulos estándar de 275 W en la totalidad de las zonas disponibles en edificios y zonas comunes y datos de *Meteonorm* para la radiación solar en Medellín. La distribución de esta generación total de 410,2 MWh/a según los diferentes puntos potenciales para módulos y dicha generación a lo largo del año se representa a continuación:

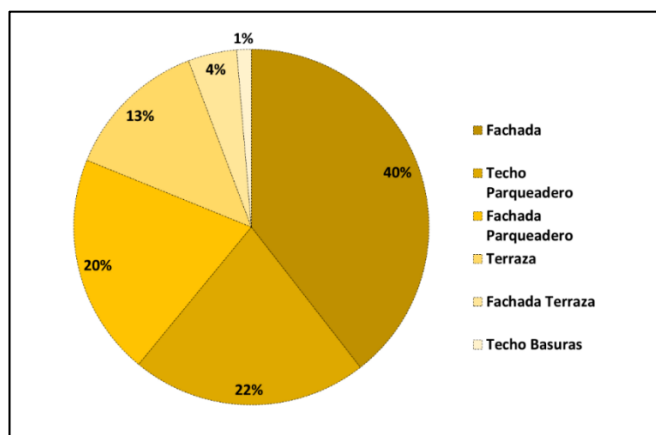


Figura 27. Distribución de generación potencial de cada punto seleccionado para la instalación de un sistema fotovoltaico

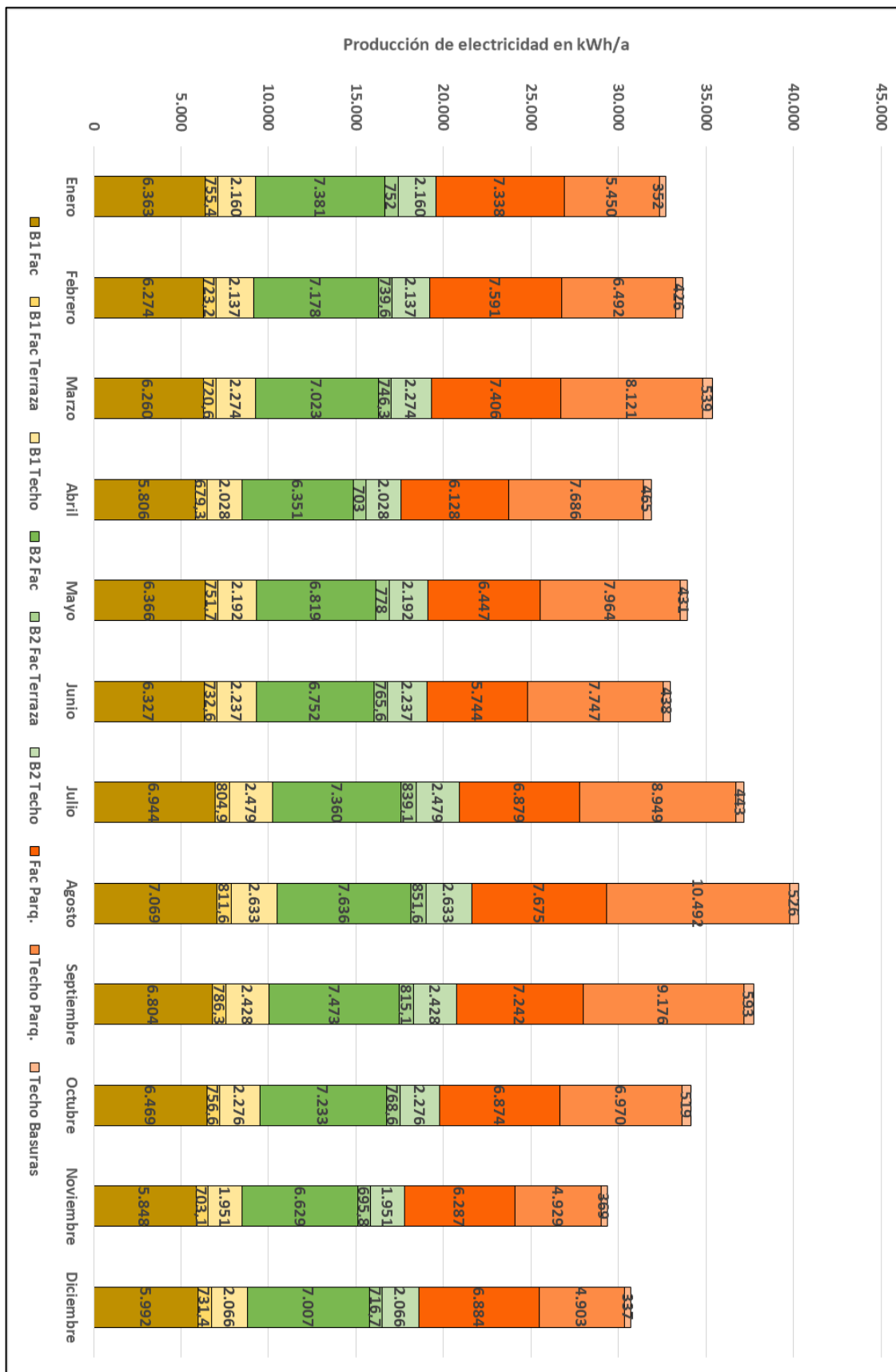


Figura 28. Generación mensual de cada punto potencial

El espacio disponible en el techo del parqueadero para la instalación de módulos fotovoltaicos es en este caso una zona crítica para el diseño de un *Energy Plus Building* dada su gran área para este propósito. Su ubicación entre ambos edificios promueve el sombreado en diferentes momentos del día y épocas del año que reducen la captación directa de radiación solar necesaria para la generación eléctrica en las celdas. Motivo por el cual se analizaron diferentes escenarios en los que se omiten algunos paneles sombreados. El sombreado fue cuantificado en los módulos como la cantidad porcentual de tiempo durante las horas de luz solar del año que se encontraba bajo sombra.

Para determinar que tanto influye la sombra que generan ambos edificios sobre el sistema fotovoltaico que se pudiera instalar en este techo, se realizaron simulaciones con diferentes límites máximos en el porcentaje de sombra sobre los módulos con el fin observar cambios en el mejoramiento del factor de generación en kWh/a por cada kW<sub>p</sub> instalado. Se simula en primer lugar una instalación fotovoltaica en donde se aprovecha la totalidad del área disponible al cubrirla con paneles de 275 W, con un factor total promedio de 1.048 kWh/kW<sub>p</sub>, que es ampliamente aceptado en proyectos de estas tecnologías, como se observa en la imagen A de la Figura 29 en donde la mayoría de paneles cuentan con un factor entre 15-30% y gradualmente se van fijando escenarios en los que se omiten paneles cuyo factor anual de sombra esté por encima de 30%, 25% y 20%. El factor de generación de la planta al usar la totalidad del techo, cuya magnitud es de 1.048 kWh/kW<sub>p</sub>, significa una producción 30% menor a la que tendría un sistema instalado en el mismo lugar y con el mismo tamaño si no presenta sombras (la simulación sin sombra propone un valor de 1.497 kWh/kW<sub>p</sub> en la ciudad de Medellín). Ahora, si se considera un sistema en el cual los paneles instalados en esta superficie están a la sombra menos del 20% del tiempo brillo solar anual se obtiene un incremento en el factor de generación que llega a niveles de 1.162 kWh/kW<sub>p</sub> equivalente a una disminución del 22% por sombras. Dicho mejoramiento implica una reducción importante del tamaño del sistema al solo poder usar el 55% de los módulos en donde se pasaría de 105,6 kW<sub>p</sub> a 58,3 kW<sub>p</sub>. Por tanto no se justifica considerar una disminución tan solo del 8% en la desviación del factor de generación óptimo por sombras por la exclusión en la instalación de más de 172 módulos al tener inicialmente un factor aceptable más no sobresaliente en la generación eléctrica con esta instalación particular. Se concluye que, aumentar este factor por la eliminación de paneles que contribuyan en menor medida a la generación por estar a la sombra, es solo una medida a considerar si el sistema de generación es mucho mayor a la demanda energética de los edificios. Contrariamente, si dicho sistema se queda corto y es necesario la

instalación de un sistema más grande para suplir dicha demanda, es igualmente válido el uso del sistema con algunos paneles que estén parcialmente a la sombra en algunos momentos del día dado que aun así se cuenta con un factor aceptable de generación por cada kilovatio instalado.

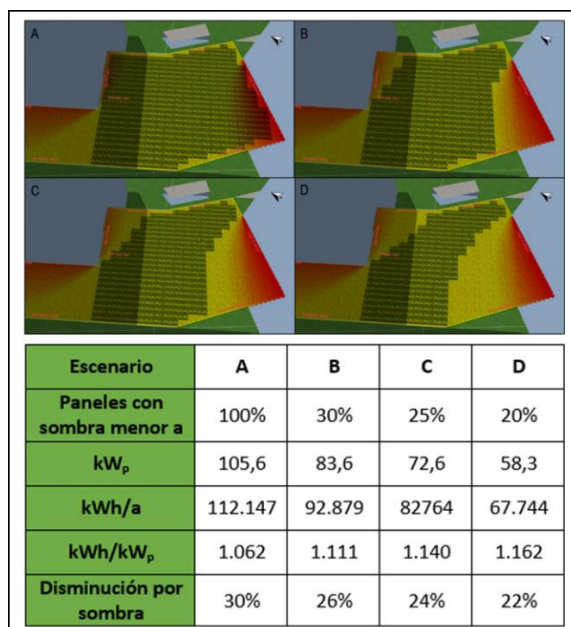


Figura 29. Disminución de sistema fotovoltaico en techo de parqueadero por sombra

Teniendo este potencial de generación se procede a cuantificar la cobertura de la demanda que este sistema fotovoltaico podría ofrecer. Esto es, qué tanto puede cubrir de la necesidad de este servicio en las viviendas y zonas comunes como pasillos, parqueaderos, *coworking*, gimnasio, entre otros.

## 6.2. DEMANDA DE ENERGÍA EN CONTREE

El estándar *Aktivplus* ofrece una herramienta desarrollada en Excel para estimar la demanda de energía eléctrica en una vivienda teniendo como parámetros de entrada la cantidad de electrodomésticos y demás consumidores de energía eléctrica, el tipo de consumidores, frecuencia de uso y la clase de eficiencia que presentan o el año en que fueron producidos. Mediante este modelo ofrecido, se estiman valores promedio de demanda eléctrica (considerando un apartamento estándar tanto con calentamiento de agua como estufa operados con gas) de 280 MWh/a que, distribuidos en 160 apartamentos, significan una demanda promedio mensual de 140 kWh y 150 kWh para los apartamentos de una y dos plantas respectivamente.



Los consumidores de energía eléctrica considerados son: lavadora, nevera con congelador integrado, lavaplatos, iluminación LED, horno, plancha, computador, tablet, televisor de 40", máquina de café de *pads*, microondas, *router*, celular, equipo de sonido compacto y secador de pelo como se resume en la Tabla 11. Dicha tabla expone las magnitudes sugeridas por el estándar y son calculadas para un apartamento cuya área promedio es de 82 m<sup>2</sup> sin contar el área del balcón o terraza para dos habitantes. En el caso de los apartamentos dúplex, se tiene un área aproximada de 111 m<sup>2</sup> sin contar el balcón y el único incremento en la demanda de energía eléctrica se asume en la iluminación que, según el estándar, supone en promedio 2,3 W/m<sup>2</sup> equivalentes a un incremento de 86 kWh cada año.

Tabla 11. Demanda de energía eléctrica en un apartamento de 82 m<sup>2</sup>.

Equipo	Uso	Unidad	Equipo estándar			Equipo eficiente		
			Consumo unitario	Unidad	kWh/año	Consumo unitario	Unidad	Consumo anual
Lavaplatos	3,00	Ciclos/semana	1,1	kWh/ciclo	167	0,6	kWh/ciclo	94
Iluminación	4,00	horas/día	2,3	W/m <sup>2</sup>	275	2,3	W/m <sup>2</sup>	241
Lavadora	3,00	horas/semana	450	W	70	84	W	13
Nevera con congelador	24,00	horas/día	55	W	482	32	W	282
Horno	2,00	Ciclos/semana	1,2	kWh/ciclo	125	0,8	kWh/ciclo	83
Plancha	1,00	horas/semana	2200	W	114	2200	W	114
Computador	3,00	horas/día	35	W	38	35	W	38
Tablet	3,00	Cargas/semana	0,3	kWh/carga	39	0,3	kWh/carga	39
TV	2,00	horas/día	90	W	66	35	W	26
TV (Standby)	22,00	horas/día	0,3	W	2	0,3	W	2
Máquina de café (Pads)	2,00	Tasas/día	0,03	kWh/tasa	18	0,03	kWh/tasa	18
Microondas	0,17	horas/día	1300	W	79	1300	W	79
Router	24,00	horas/día	20	W	175	20	W	175
Celular	10,00	Cargas/semana	0,02	kWh/carga	10	0,02	kWh/carga	10
Equipo de sonido	1,00	horas/día	50	W	18	50	W	18
Secador de pelo	0,07	horas/día	2200	W	54	2200	W	54

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Aktivplus e.V., 2014)

Para los consumidores que significan la mayor demanda de energía, se realizó una cotización de su precio actual en el mercado tanto con clase de eficiencia promedio o B y alta eficiencia o A en adelante con el fin de determinar qué tan rentable es para un usuario incurrir en una inversión mayor para ahorrar energía en su hogar. Los electrodomésticos considerados fueron los siguientes:

- Estufa eficiente: Marca Haceb, referencia CUB INDUCCION 60 220V MF de 4 puestos
- Estufa estándar: Marca Haceb, referencia CUB AP VITRO 60 220V MF de 4 puestos
- Horno eficiente: Marca Challenger Referencia HG 2560
- Horno estándar: Marca Challenger Referencia HE 2652
- Lavaplatos eficiente: Marca Haceb, Referencia Alkimia 14 puestos

- Lavaplatos estándar: Marca Frigidaire, Referencia FBD2400
- Lavadora eficiente: Marca LG, Referencia WD1577RD
- Lavadora estándar: Marca Samsung, Referencia WA90H4400SS
- Secadora eficiente: Marca Samsung , Referencia DV9 M52
- Secadora estándar: Marca Whirlpool, Referencia 7MWED1800EM
- Nevera eficiente: Marca LG, referencia LT41SGPX
- Nevera estándar: Marca Challenger, referencia CR570

Bajo el consumo nominal de estos equipos se realizó la Tabla 12 con el fin de calcular cuánta energía sería posible ahorrar anualmente por medio de la instalación de cada equipo y, según el precio en el mercado, cuantificar el tiempo necesario para recuperar la inversión adicional que debe hacerse para comprar equipos de alta eficiencia.

*Tabla 12. Comparación de algunos electrodomésticos estándar y eficientes*

Equipo	Consumo [kWh/a]		Precio [COP]		Ahorro [COP/kWh]	Retorno [Años]
	Eficiente	Estándar	Eficiente	Estándar		
Estufa	144	198	\$ 1.677.900	\$ 1.486.900	\$ 3.537	8
Horno	83	125	\$ 855.900	\$ 803.900	\$ 1.250	3
Lavaplatos	94	167	\$ 1.616.900	\$ 1.099.900	\$ 7.044	15
Lavadora	13	70	\$ 4.049.900	\$ 959.000	\$ 54.226	119
Nevera/congelador	211	481	\$ 2.311.932	\$ 1.902.900	\$ 1.515	3
Secadora	145	165	\$ 2.336.400	\$ 1.529.900	\$ 40.325	89

De lo anterior se observa que para este caso particular, no resulta rentable económicamente comprar una secadora, una lavadora y un lavaplatos eficientes para ahorrar energía. La inversión sería meramente basada en la disminución de GEI relativos a una mayor demanda de energía para su operación.

Para la cocción y el calentamiento de agua se tienen tres escenarios: la cocción se evalúa con estufa operada con gas, fogón eléctrico y fogón eléctrico de inducción (estufa eléctrica que se calienta por un campo electromagnético y no por resistencias) y para el calentamiento de agua se plantea primero con un calentador a gas, calentador de paso y bomba de calor central. De esta manera, en escenarios donde la cocción y/o el calentamiento de agua se realicen con gas, no es considerado dicho consumo en el modelo por ser netamente eléctrico y debe ser sumando posteriormente para obtener un valor total de energía en estos casos a partir de un volumen de gas medido y su poder calorífico. En la Figura 30 se cuantifica la demanda de energía eléctrica aproximada de todas las viviendas en CONTREE para diferentes configuraciones de los consumidores de energía. Para el total de las viviendas se tomó como punto de partida

lo propuesto en planos para la distribución de los apartamentos. Es decir, cada nivel par del edificio cuenta con dos apartamentos de dos plantas y cuatro de una sola y los impares tienen cuatro apartamentos de una planta para un total de 160 apartamentos distribuidos de la siguiente manera: 56 apartamentos de una sola planta y 14 de dos plantas en el edificio 1 (edificio cuya terraza se encuentra en el nivel 16) y 72 apartamentos de una sola planta y 18 de dos plantas para el edificio 2 (edificio cuya terraza se encuentra en el nivel 18). Adicionalmente, el edificio 2 cuenta con tres apartamentos por nivel en los niveles N1, S1, S2 y S3 dentro de los cuales se proponen 2 apartamentos de dos plantas. El área tenida en cuenta para los cálculos energéticos de demanda y generación por metro cuadrado es el área habitable que no considera el área de balcones ni terrazas, teniendo así un área promedio de los apartamentos de una planta de 82,2 m<sup>2</sup> y 111,6 m<sup>2</sup> para los de dos plantas para un total de área de vivienda de 14.091 m<sup>2</sup>.

En la Figura 30 cada escenario se identifica como:

- Std: Consumidores eléctricos estándar en todas las viviendas sin tener en cuenta energía necesaria para calentar agua y cocinar puesto que son tareas que en este escenario se llevan a cabo con gas natural
- BC: Calentamiento de agua en los apartamentos por medio de una bomba de calor central que suplente a todos los apartamentos del edificio
- Ef: Este es el escenario de menor consumo eléctrico posible dado que considera la instalación de electrodomésticos altamente eficientes en las viviendas, la cocción se da con inducción eléctrica y el calentamiento de agua se lleva a cabo por medio de una bomba de calor central.
- CI: Consumidores eléctricos estándar con estufa eléctrica de inducción y calentamiento de agua a gas
- CE: Consumidores eléctricos estándar con estufa eléctrica y calentamiento de agua a gas
- CI + BC: Consumidores eléctricos estándar con estufa eléctrica de inducción y calentamiento de agua con bomba de calor
- CE + BC: Consumidores eléctricos estándar con estufa eléctrica y calentamiento de agua con bomba de calor
- CEP: Consumidores eléctricos estándar con calentador eléctrico de paso y estufa a gas

- CI + CEP: Consumidores eléctricos estándar con cocción de inducción y calentador eléctrico de paso
- CE + CEP: Consumidores eléctricos estándar con cocción eléctrica y calentador eléctrico de paso

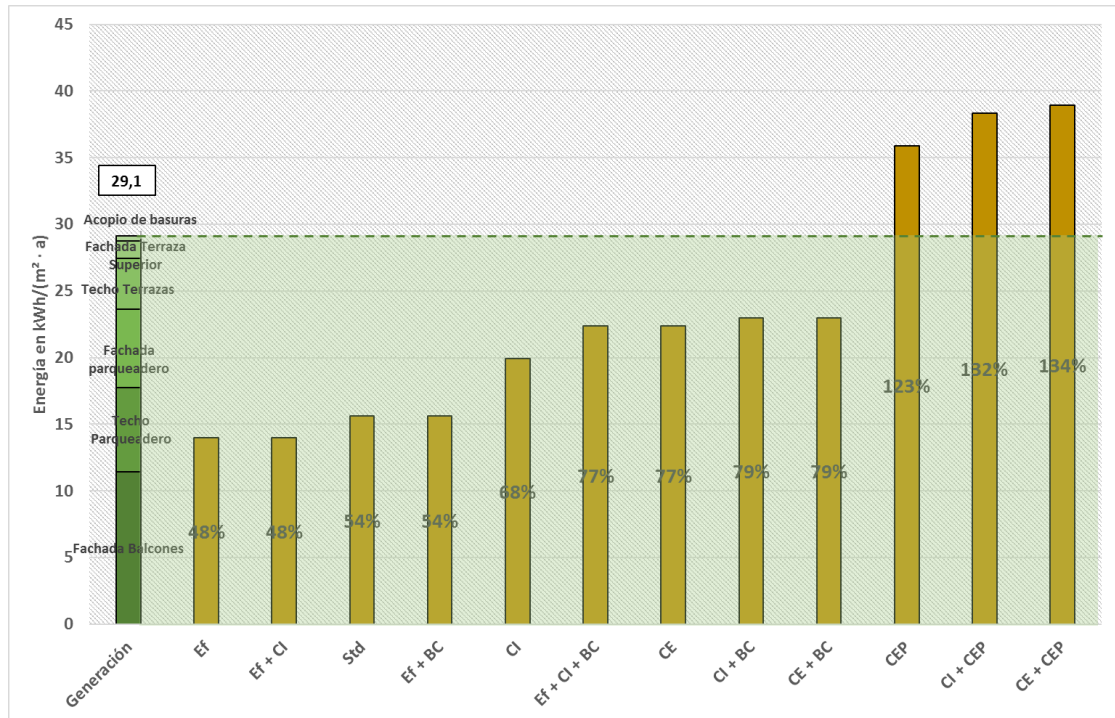


Figura 30. Cobertura de demanda eléctrica de apartamentos con planta fotovoltaica en CONTREE

El perfil horario de la demanda de energía eléctrica dentro de los apartamentos fue determinado con el fin de caracterizar la distribución de la exportación e importación de energía hacia y desde la red común basada en la capacidad de generación obtenida en la simulación del sistema en PVSOL. La compañía alemana EGS-Plan ha desarrollado un perfil de demanda eléctrica estándar anual basado en mediciones puntuales para el sector residencial donde, al considerar las estaciones del año, existen variaciones significativas en el uso de iluminación artificial por la disponibilidad de luz natural cambiante. Para el caso particular de este trabajo se consideran solamente los períodos de transición de estaciones en los cuales la luz solar tiene una duración aproximada de 12 horas semejante a la duración en Colombia. El consumo anual obtenido tras dicha consideración asciende a los 1004 kWh/a para Alemania y por medio de este valor final y el seguimiento horario, que incluso muestra diferencias entre días laborales, sábados y domingos, se escala el consumo anual según los valores obtenidos previamente para

los diferentes escenarios de consumo calculados con la herramienta propuesta por el estándar *Aktivplus*. Esta demanda de energía es relativa solamente a los contadores de energía eléctrica de cada apartamento y por tanto no tiene en cuenta consumidores externos como por ejemplo la bomba de calor en caso tal de que el escenario la incluya. Como se muestra en la figura anterior, estos escenarios oscilan entre los 14 kWh/(m<sup>2</sup>·a) y 38 kWh/(m<sup>2</sup>·a) o 197 MWh/a y 548 MWh/a respectivamente. Para los diferentes escenarios de demanda de energía eléctrica propuestos en los apartamentos de Contree se presentan los siguientes factores de escala:

<b>Escenario</b>	Ef	Ef + CI	Std	Ef + BC	Ef + CI + BC	CI
<b>Demanda (MWh/a)</b>	197	220	280	197	220	315
<b>Factor [(kWh/a)/(kWh/a)]</b>	197	220	279	197	220	314
<b>Escenario</b>	CE	CI + BC	CE + BC	CEP	CI + CEP	CE + CEP
<b>Demanda (MWh/a)</b>	323	315	323	505	540	548
<b>Factor [(kWh/a)/(kWh/a)]</b>	322	315	323	503	538	546

Tabla 13. Factor de escala para dimensionamiento de perfil de demanda eléctrica en apartamentos

Con cada factor y el perfil de consumo de energía eléctrica en la época de transición, se escala para los consumos en Colombia por medio de la ecuación

$$DC_{hde} = DA_{hd} \cdot F = DA_{hd} \cdot \frac{DCA_e}{DAA} \quad (7)$$

Donde

$DC_{hd}$  = Demanda eléctrica en Colombia a la hora  $h$  del día  $d$  del escenario  $e$

$DA_{hd}$  = Demanda eléctrica en Alemania a la hora  $h$  del día  $d$

$F$  = Factor de la Tabla 12 definido como el cociente entre  $DCA$  y  $DAA$

$DCA$  = Demanda eléctrica anual en Colombia del escenario  $e$  de la Tabla 12

$$DAA = \text{Demanda eléctrica anual en Alemania} = 1004 \frac{kWh}{a}$$

A continuación se muestra la curva de demanda eléctrica de los 160 apartamentos utilizada en este trabajo para determinar la posibilidad de uso propio de la energía generada o la exportación de este servicio a la red eléctrica común cuando es superior a la demanda.

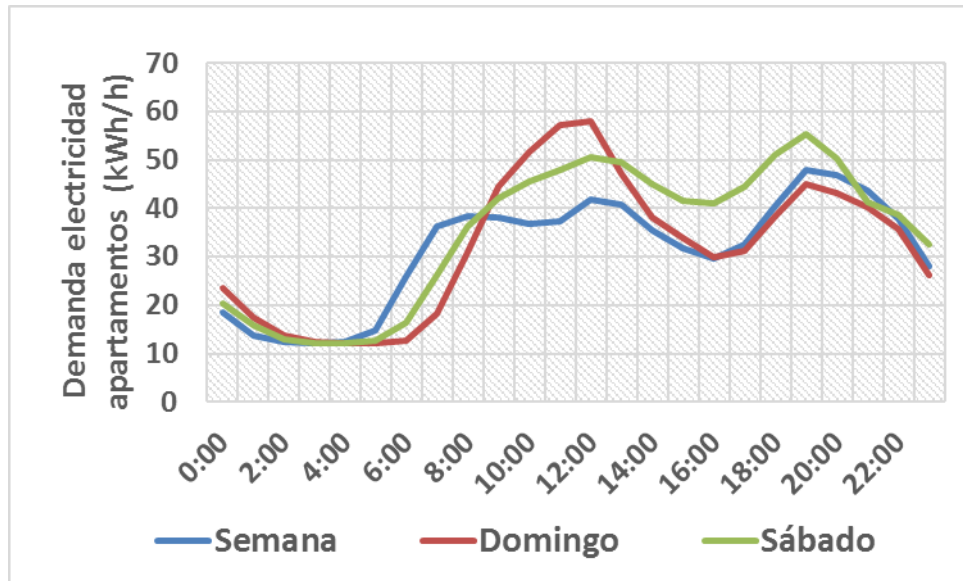


Figura 31. Demanda de electricidad bajo el escenario estándar (Std)

Adicional al consumo de energía eléctrica que representa cada vivienda, por tratarse de un par de edificios, se tienen zonas compartidas o comunes en las cuales también existen consumidores de energía. De esta manera, es necesario construir para estos consumidores un perfil de demanda dado que un *Energy Plus Building* considera la totalidad del edificio para el balance energético en donde se encuentra dichas zonas comunes. En CONTREE, los consumidores de energía adicionales son identificados como iluminación, ascensores, turco y puertas de accionamiento eléctrico para carros y peatones.

La demanda de energía para los ascensores se determina bajo las directrices dadas por la Sociedad de Ingenieros de Alemania (Verein Deutscher Ingenieure) en el documento VDI 4707. Bajo esta metodología se definen los cuatro ascensores con los que contará CONTREE como categoría 4 (categoría referente edificios multifamiliares con más de 50 apartamentos), capacidad de soportar 800 kg (Q), una velocidad de 1 m/s ( $\vartheta$ ), un consumo específico de energía de 1,6 mWh/(kg · m) ( $E_{spec}$ ) según esta carga a transportar para una clase de eficiencia C y funcionando con contra peso. Según la categoría dada por la cantidad de usuarios, esta metodología sugiere que se tiene un tiempo de *standby* diario ( $t_1$ ) de 21 horas y de operación diaria ( $t_2$ ) de 3 horas acompañadas de una tasa de consumo por no operación (P) de 200 W. La energía requerida diaria promedio ( $E_{day}$ ) para estos edificios se da por la ecuación:

$$E_{day} = P \cdot t_1 + E_{spec} \cdot \vartheta \cdot t_2 \cdot Q \quad (8)$$

De lo anterior se obtiene una demanda diaria por ascensor de 18.456 Wh que, anualmente para los cuatro ascensores representa un valor cercano a los 27 MWh/a.

El perfil de demanda de estos consumidores de energía se trazó escalando valores de potencia eléctrica medida cada quince minutos en el proyecto *Aktiv-Stadthaus* que recibió la distinción *Aktivplus* en el año 2016 y cuya descripción como proyecto insignia de este estándar de energía se aprecia en el Anexo A. Los ascensores de este proyecto que se utiliza como base presentan una demanda anual de energía por equipo de 1.400 kWh con el cual se determina por consiguiente un factor de escala de 18.8 bajo el mismo procedimiento realizado anteriormente para escalar el consumo del interior de los apartamentos. Se obtiene por medio de estas indicaciones de VDI una demanda anual de 27 MWh.

Para realizar una distribución horaria de esta demanda anual se hizo seguimiento a la demanda energética de tres ascensores del proyecto *Aktiv-Stadthaus* entre el año 2016 y 2017 durante todo el año y se promedian dichos valores para cada uno de los siete días de la semana. Se realiza una distinción en los diferentes días de la jornada laboral con el fin de evitar patrones o tendencias asociados a usos particulares de los usuarios del edificio.

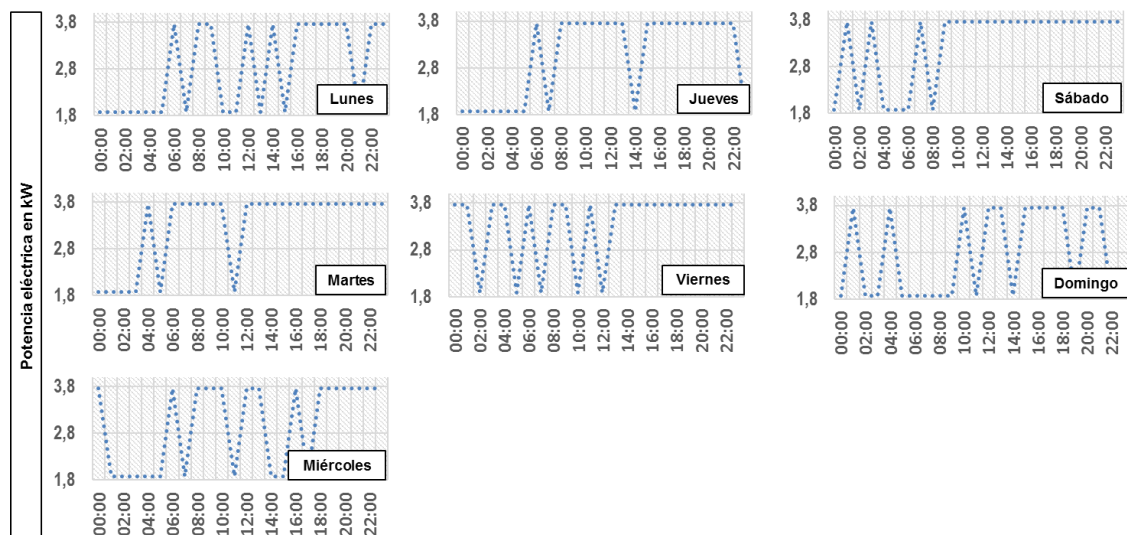


Figura 32. Perfil de demanda energética de ascensores en Contree

Otros consumidores tomados en cuenta para el balance de energía dentro de Contree corresponden a las puertas de entrada a los edificios que son accionadas de manera remota por el usuario y movidas por un motor eléctrico. Para el dimensionamiento de la demanda energética diaria de este proceso de entrada y salida a los edificios se

realizaron las siguientes suposiciones: el motor que acciona cada puerta tiene  $\frac{1}{2}$  HP de potencia ( $P_{motor}$ ) y el tiempo de abrir y cerrar es de 40 segundos ( $t$ ) según lo reportado en diferentes portales de venta de estos sistemas como (Tractor Supply Co, 2019) y (Liftmaster, 2019), de 160 apartamentos que puede tener aproximadamente el proyecto en un futuro, se estiman 1.7 carros por vivienda ( $C$ ) dada la alta cantidad de parqueaderos que se planea construir, en semana se movilizan el 80% ( $F_{sem}$ ) de los carros por factores como el “Pico y Placa” y la posibilidad de compartir algunas veces transporte con la otra persona que viva en el apartamento y el 50% ( $F_{fin}$ ) de los carros se movilizan los fines de semana sobre todo por el uso compartido en estos dos días de la semana de los automóviles entre habitantes del mismo apartamento. Bajo este planteamiento se tiene entonces bajo la siguiente ecuación la demanda semanal de energía de las puertas de entrada y salida de los edificios ( $E_{semanal}$ ) que por las 52,14 semanas del año representa 588 kWh/a:

$$E_{semanal} = P_{motor} \cdot t \cdot (C * F_{sem} * 5 + C * F_{Fin} * 2) * 2 \quad (9)$$

La encuesta realizada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá de Origen y Destino provee información sobre los horarios en los cuáles los potenciales residentes de Contree podrían circular a través de dichas puertas. Los parámetros utilizados en la encuesta para identificar este segmento social que podría habitar en estos edificios se refieren a personas que se moviliza en carro, con origen en el barrio El Poblado, estrato 5 y 6, trabajadores independientes, dependientes y empleados que estudian al mismo tiempo. El patrón de movilidad obtenido para este perfil se muestra a continuación por medio del cual se realiza el perfil de demanda energética para este consumidor.



Figura 33. Horarios de movilización en el Área Metropolitana de los habitantes potenciales de Contree

**Fuente.** (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017)

Para la iluminación de las áreas comunes se realizó una medición de las áreas de pasillos, escaleras, cuartos de basuras, vestíbulos, spa, gimnasio, baños, cuartos útiles, parqueaderos interiores, parqueaderos exteriores, *coworking*, cuartos para almacenamiento de agua lluvia y cuartos de máquinas. Con estas áreas y requerimientos de niveles mínimos de iluminación según el Reglamento Técnico de



Iluminación y Alumbrado Público (Retilap) se determinan valores de potencia requerida en luminarias para alcanzar estos niveles. Se toman valores medios para pasillos en donde Retilap establece un valor de iluminación por unidad de área de 50-150 lx y para escaleras se toma el valor medio entre 100-200 lx (Ministerio de Minas y Energía, 2010). Para los requerimientos de iluminancia en el gimnasio, zona de *coworking*, cuartos de máquinas y cuartos técnicos se tomaron los requerimientos propuestos por el Observatorio Nacional de Astronomía Óptica de Estados Unidos que significan 200 lx, 500 lx y 300 lx respectivamente (NOAO, 2016). Tanto para los parqueaderos interiores como exteriores se tomó el valor de 20 lx sugerido en el Manual de Iluminación para la Práctica de (Zumtobel Lighting, 2016).

Tabla 14. Dimensionamiento de sistema de iluminación de zonas comunes en Contree






Sección	Ubicación	Zona	Area (m <sup>2</sup> )	Cantidad	Total área (m <sup>2</sup> )	lx	lm	Tipo luminaria	Luminarias	Uso (h/día)	kWh/d	Sensor de presencia
Edificio 1	N2-N15	Pasillo	54	14	749	100	74.900	1	38	0,7	0,81	Sí
Edificio 1	N16	Pasillo	54	1	54	100	5.350	1	3	0,2	0,01	Sí
Edificio 1	N2-N16	Cuarto de basuras	4	15	60			0			0,00	
Edificio 1	N16	Área común	77	1	77	200	15.300	1	8	2,0	0,46	No
Edificio 1	N1	Coworking	166	1	166	500	82.875	2	25	12,0	11,99	No
Edificio 1	N1	Corredor contiguo a Coworking	68	1	68	50	3.400	2	1	12,0	0,49	No
Edificio 1	N1-N16	Escaleras	3	64	192	150	28.800	3	32	0,3	0,00	Sí
Edificio 1	S1-S2	Escaleras	3	32	96	150	14.400	3	16	0,0	0,00	Sí
Edificio 1	S1	Hall	19	1	19	50	963	1	1	3,2	0,05	Sí
Edificio 1	S1	Pasillo cuarto útil	9	2	18	50	900	3	1	0,0	0,00	No
Edificio 1	S1	Cuartos útiles	68	1	68	50	3.395	3	4	0,0	0,00	No
Edificio 1	S1	Cuarto satélite basuras	16	1	16	50	813	3	1	0,2	0,00	No
Edificio 1	S2	Hall	19	1	19	50	963	1	1	3,2	0,05	Sí
Edificio 1	S2	Pasillo cuarto útil	9	1	9	50	450	3	1	0,0	0,00	No
Edificio 1	S2	Cuartos útiles	22	1	22	50	1.113	3	2	0,0	0,00	No
Edificio 1	S2	Cuarto eléctrico	5	1	5	200	1.058	3	2	0,1	0,00	No
Edificio 2	N2-N17	Pasillo	54	17	910	100	90.950	1	46	0,7	0,98	Sí
Edificio 2	N18	Pasillo	54	1	54	100	5.350	1	3	0,2	0,02	Sí
Edificio 2	S2-N18	Cuarto de basuras	4	22	88			0			0,00	
Edificio 2	N18	Área común	77	1	77	300	22.950	1	12	3,0	1,03	No
Edificio 2	N1-N18	Escaleras	3	72	216	150	32.400	3	36	0,3	0,00	Sí
Edificio 2	N1	Hall	40	1	40	50	2.013	1	2	0,4	0,01	Sí
Edificio 2	N1	Cuartos útiles	17	2	33	50	1.674	3	2	0,0	0,00	No
Edificio 2	N1	Cuarto eléctrico	4	1	4	200	800	3	1	0,1	0,00	No
Edificio 2	S1,S2,S3	Hall	57	3	170	50	8.475	1	5	8,1	1,03	Sí
Edificio 2	S1	Cuartos útiles	17	1	17	50	837	3	1	0,0	0,00	No
Edificio 2	S2,S3	Cuartos útiles	43	2	86	50	4.289	3	5	0,0	0,00	No
Edificio 2	S1,S2,S3,S3.5,S4	Escaleras	3	10	30	150	4.500	3	5	0,1	0,00	Sí
Edificio 2	S2,S3	Pasillo cuarto útil	8	1	8	50	413	3	1	0,0	0,00	No
Edificio 2	S3.5	Spa	159	1	159	300	47.775	2	15	6,0	3,46	No
Edificio 2	S3.5	Cuarto satélite	16	1	16	50	813	3	1	0,2	0,00	No

Sección	Ubicación	Zona	Area (m <sup>2</sup> )	Cantidad	Total área (m <sup>2</sup> )	lx	lm	Tipo luminaria	Luminarias	Uso (h/día)	kWh/d	Sensor de presencia
Edificio 2	S3.5	Cuarto satélite basuras	16	1	16	50	813	3	1	0,2	0,00	No
Edificio 2	S3.5	Hall	45	1	45	50	2.267	1	2	2,1	0,07	Si
Edificio 2	S3.5	Baños y turco	54	1	54	100	5.376	1	3	4,0	0,32	No
Edificio 2	S3.5	Gimnasio	216	1	216	200	43.240	5	44	18,0	11,67	No
Edificio 2	S3.5	Cuarto de máquinas	576	1	576	200	115.200	3	128	0,3	0,33	No
Zonas comunes	Acopio de basuras	Acopio de basuras	56	1	56	50	2.779	3	4	1,0	0,03	No
Zonas comunes	N1	Parqueadero exterior	761	1	761	20	15.220	4	16	12,0	0,82	No
Zonas comunes	N1	Parqueadero interior	1633	1	1633	50	81.650	3	91	6,0	4,90	Si
Zonas comunes	N1	Cuartos útiles parqueadero	4	6	23	50	1.125	3	2	0,0	0,00	No
Zonas comunes	S1	Parqueadero interior	2725	1	2725	50	136.250	3	152	6,0	8,18	
Zonas comunes	S1	Cuartos útiles parqueadero	90	1	90	50	4.485	3	5	0,0	0,00	No
Zonas comunes	S2	Cuartos útiles parqueadero	64	1	64	50	3.213	3	4	0,0	0,00	No
Zonas comunes	S2	Cuarto agua lluvia	49	1	49	50	2.438	3	3	0,1	0,00	No
Zonas comunes	S2	Parqueadero interior	2677	1	2677	50	133.853	3	149	5,4	7,23	Si
Zonas comunes	S3	Subestación eléctrica	68	1	68	200	13.600	3	16	0,1	0,01	No
Zonas comunes	S3	Cuartos útiles parqueadero	5	6	27	50	1.350	3	2	0,0	0,00	No
Zonas comunes	S3	Parqueadero interior	1539	1	1539	50	76.925	3	86	5,3	4,04	Si

La totalidad de la demanda energética por iluminación de zonas comunes en Contree se aproximó con modelos de luminarias que ofrece la marca Philips por su amplia participación en el mercado actual colombiano. Todas las luminarias utilizadas en la modelación son de tecnología LED por su alta eficiencia energética y durabilidad con respecto a la tecnología fluorescente. Por motivos estéticos, se modela para pasillos de cada planta, spa, gimnasio, *coworking*, cuartos de terrazas superiores y en general, donde hay un alto flujo de personas, luminarias de tipo empotrable. Para los parqueaderos cubiertos se modela el cubrimiento total de demanda de iluminación con tubos T8 de 600 mm de largo por su alto rendimiento denominado por la relación lm/W. La distribución por tipo de luminaria de 1 a 4 de la Tabla 14 corresponde a las referencias mostradas en la

Tabla 15.

Tabla 15. Especificaciones de luminarias utilizadas en definición de demanda de iluminación

Tipo de luminaria	Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	lm/W	Tecnología	Referencia /Marca	Montaje	Vista
1	30	2.000	67	LED	DN135B LED20S 840 PSU.WH 120-277V /Philips	Empotrable	
2	41	3.400	83	LED	RC125B W60L60 LED34 840 PSD UNIV 50H / PHILIPS	Empotrable	
3	9	900	100	LED	Tubo LED T8 ESSENTIAL 600mm 9W 840 T8 C W G	Tubo	
4	4,5	1.000	222	LED	Stratosphere 4000K / Philips	Sobremuro /pie	
5	15	1.000	67	LED	DN135B LED10S 865 PSU.WH 120-277V / Philips	Empotrable	

Tras estos requerimientos de iluminancia, las áreas medidas en planos provistos por Concreto y supuestos de horas de ocupación se determina una demanda de energía diaria de 57 kWh (21 MWh/a). Con los supuestos de ocupación de entrada y salida de los habitantes de CONTREE, uso del gimnasio, *coworking*, escaleras y demás zonas comunes se construyó la siguiente curva de demanda horaria para la iluminación:

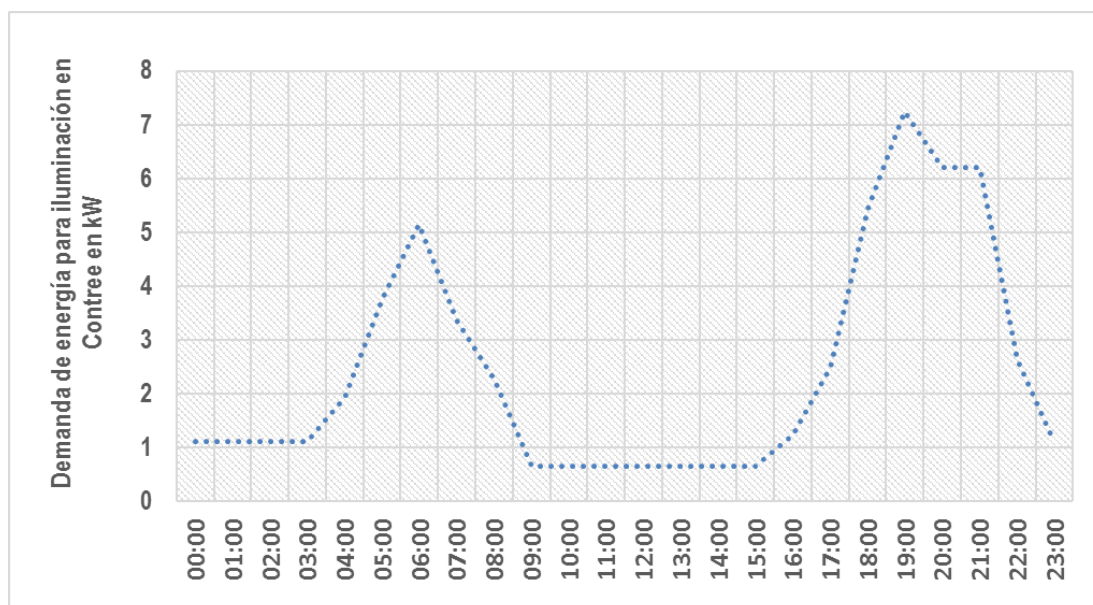


Figura 34. Perfil de demanda energética de iluminación de zonas comunes

El proyecto Contree cuenta también desde su planeación con una zona compartida en el edificio B2 ubicada en la planta S3.5 para un turco. Basados en las reglas de dimensionamiento propuestas por los proveedores Spa-Dampfbad y Repabad, se recomiendan valores aproximados de 1 kW eléctrico por cada m<sup>3</sup> del turco (repa Bad, 2018). Por tanto, para un turco aproximado de 8 m<sup>3</sup>, se puede tener un calentador eléctrico de 8 kW con una eficiencia del 95-99% como lo sugiere (Energie-Experten, 2016) y por tanto una potencia de entrada de 8,4 kW. Se estima un uso diario de cuatro horas entre 18:00 y 22:00 en las cuales se considera una hora de calentamiento del sistema y un día cada dos semanas no estaría disponible para operar para cuestiones de mantenimiento. Bajo esta suposición de uso del turco, se tiene un consumo de 33,7 kWh/día y 11,4 MWh/año.

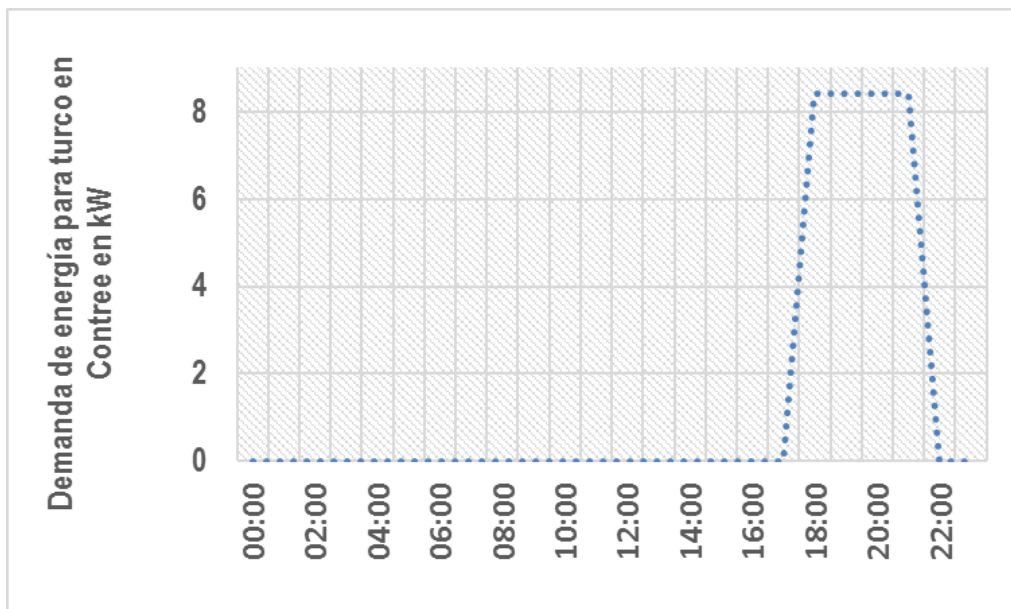


Figura 35. Perfil de demanda energética de turco

Adicional a todos estos consumidores de energía eléctrica, se toma en cuenta el uso de otros energéticos como el gas natural que en las ciudades grandes colombianas es usado en casi todas las unidades de vivienda para llevar a cabo procesos de cocción y calentamiento de agua sanitaria como se muestra en el [Anexo B](#). El informe de Calidad de Vida de Medellín 2016 presenta valores de consumo promedio de gas natural por habitante para las diferentes zonas del Valle de Aburrá entre los cuales se encuentra en promedio para Medellín un consumo de 0,09 m<sup>3</sup>/(habitante·día) y el mayor consumidor de los municipios evaluados, Sabaneta con 0,17 m<sup>3</sup>/(habitante·día) (Alcaldía de

Medellín, 2016). En el año 2018 se realizó la Encuesta de Percepción de Calidad de Vida en el municipio de Sabaneta en el cual se muestra que el 95% de la población percibe que su vivienda está en buen estado, el 15% de los encuestados señala que solo vive con otra persona, el 30% con otras dos y el 29% con otras tres (Municipio de Sabaneta, 2018), datos que contrastan con la forma de vida en Medellín donde se presenta una estructura social en donde cerca del 40% vive lejos de equipamientos colectivos, zonas de alto riesgo o con signos visibles de deterioro (Alcaldía de Medellín, 2006). Por tanto, se toma como referencia el consumo de gas natural diario de Sabaneta, municipio que también es conocido por su rápido crecimiento en los últimos años en la construcción de viviendas multifamiliares verticales. El Informe del Sector Gas Natural en Antioquia de Transmetano sugiere los siguientes valores para los municipios mencionados:

Tabla 16. Consumo de gas natural por habitante en Medellín y Sabaneta

<b>Medellín</b>	<b>m<sup>3</sup> (x10<sup>6</sup>)</b>	75	79	77	79	126	<b>Promedio m<sup>3</sup>/(habitante·día)</b>
	<b>Población (x10<sup>3</sup>)</b>	2.393	2.417	2.441	2.464	2.486	0,10
<b>Sabaneta</b>	<b>m<sup>3</sup> (x10<sup>6</sup>)</b>	2	2	2	3	4	<b>Promedio m<sup>3</sup>/(habitante·día)</b>
	<b>Población (x10<sup>3</sup>)</b>	49	50	51	51	52	0,14

**Fuente.** (Transmetano, 2016)

Por medio de la ecuación

$$E = V \cdot C \quad (10)$$

Donde

*E = Energía obtenida por la combustión de 1 m<sup>3</sup> de gas natural a 15,5°C y 1 atm*

*V = Volumen de gas natural a 15,5°C y 1 atm*

$C = 35 \frac{MJ}{m^3}$  Poder calorífico inferior de gas natural (FECOC, 2016)

A partir del Informe de Calidad de Vida mencionado anteriormente, se determina el consumo de energía diario por cada habitante de gas natural como 1,7 kWh (615 kWh/a) y que para la totalidad de habitantes de Contree que cuenta con 160 apartamentos y se suponen 1,8 personas por apartamento, este valor representa 177 MWh/a o 12,6 kWh/(a·m<sup>2</sup>). La herramienta de cálculo de *Aktivplus* empleada para determinar la demanda eléctrica de los apartamentos aproxima una demanda eléctrica de una estufa de 110 kWh/(a·persona) con una clase de eficiencia promedio o tipo B. Teniendo en cuenta que

estos equipos eléctricos tienen una eficiencia cercana al 70% y el mismo equipo pero alimentado con gas natural tiene una eficiencia del 40% como lo expresan (Wilson, 2009) y (Insteading, 2014), se tiene una demanda de gas natural para cocción de 197 kWh/(a·persona) que representa un 32% de los 615 kWh consumidos al año por cada persona y el 68% restante, equivalente a 393 kWh/(a·persona), es relativo al consumo para calentamiento de agua sanitaria.

Aunque en el mercado se vendan estufas eléctricas de resistencias e inducción, las estufas de gas en Colombia han sido tradicionalmente las más vendidas puesto que la electricidad ha tenido un costo mayor al de este combustible y la inversión de estos equipos eléctrico es a su vez mayor. En la actualidad se presentan diferentes factores que vienen promoviendo la inclusión de fuentes renovables para la generación eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (Plan de Expansión de la UPME), la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono) y la reducción de demanda energética en viviendas (Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética) que dan base a la consideración del paso de cocción y calentamiento con gas hacia sistemas totalmente eléctricos. Dicha transición puede presentar beneficios como:

- Procesos de cocción y calentamiento serán cada vez más limpios dado que la generación de energía eléctrica en el país se está extendiendo gradualmente hacia la inclusión de fuentes renovables teniendo en cuenta que en Colombia ya cerca del 70% proviene de fuentes hídricas
- La energía eléctrica será cada vez más barata por la caída de precios de paneles fotovoltaicos debida la alta oferta en el mercado gracias al fomento de la Transición Energética a nivel mundial
- Se obtiene una menor demanda energética al tener equipos más eficientes
- Calentadores de paso ocupan menos espacio al evitar la acumulación de agua
- Los equipos eléctricos son más seguros por no propiciar la combustión de gases
- Se cuenta con un proyecto que tiene un factor diferenciador al eliminar completamente el uso de fuentes no renovables para labores domésticas

A parte del planteamiento del paso de equipos de gas a eléctricos para cocción, se plantea también este paso para el calentamiento de agua sanitaria por medio de una bomba de calor central que utiliza como fuente de calor al aire de los alrededores del edificio. Este proceso de calentamiento es comúnmente usado tanto para calentamiento de agua como para calefacción en edificaciones que buscan una baja demanda de

energía y evitar el uso directo de combustibles para estas labores. Dado que estos equipos no realizan una transformación de energía eléctrica en térmica como los calentadores de paso, no se considera una eficiencia como tal del dispositivo sino un desempeño. Esta magnitud conocida como COP por sus siglas en inglés de *Coefficient of Performance* indica cuantas unidades de energía térmica fueron entregadas al agua por cada unidad de energía eléctrica que necesita el compresor para realizar un ciclo de compresión completo como se aprecia en la Figura 36. En este ciclo, como su nombre lo indica, un refrigerante se desplaza entre una fuente de calor que se hace pasar por el evaporador y entregar su energía y el condensador en donde se encuentra el flujo a ser calentado cuando se condensa el refrigerante.

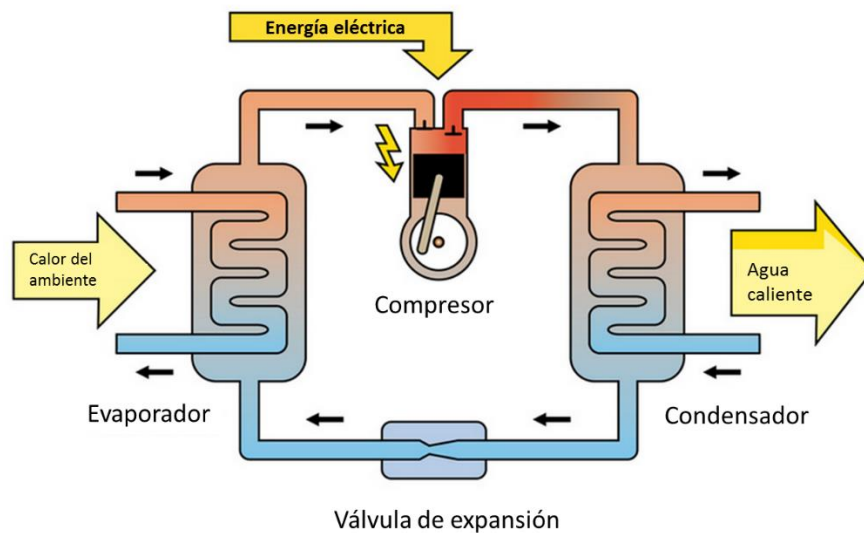


Figura 36. Esquema de funcionamiento de bomba de calor

**Fuente.** (Blasbichler, 2016)

En proyectos que incluyen esta tecnología para cumplir funciones de calentamiento de agua y/o calefacción, la elección de la fuente de calor es crítica para la viabilidad económica dado que el COP dependerá en gran medida de esta temperatura y por tanto podría variar considerablemente a lo largo del año por motivo de las estaciones. Es por esto que en la planeación de *Energy Plus Buildings* se realizan estudios previos de la zona en donde se construirá el edificio o donde ya está construido con el fin de definir la fuente particular de calor con la cual se suplirá al equipo. Estas fuentes varían según las condiciones ambientales y del terreno en cuestión y es posible considerar desde sondas geotérmicas introducidas a diferentes profundidades para aprovechar el calor mismo de la tierra o colectores cercanos a la superficie para extraer el calor del sol

atrapado, fuentes hídricas subterráneas o en algunos casos, el aire mismo si su variación de temperatura a lo largo del año no es crítica. Dado que este desempeño del equipo ya sea para uso sanitario o calefacción se ve mejorado cuando la fuente de calor se encuentra a una mayor temperatura como lo muestra la Figura 37 (la magnitud de este coeficiente varía de un fabricante a otro), el uso de bombas de calor tiene mejores resultados de calentamiento en zonas como Colombia donde la temperatura media anual es mayor a la de muchos países europeos donde estas instalaciones son comunes. Esta figura muestra en el eje horizontal la temperatura del aire que aporta el calor, que para la ciudad de Medellín es de 21 °C (Climate-Data, 2018) y para un calentamiento entre 45°C y 55°C presenta un COP entre 3 y 4. De este modo, el calentamiento de agua evita directamente la combustión de recursos no renovables como es llevado a cabo tradicionalmente y, cuando su alimentación eléctrica se da por medio de fuentes renovables, su funcionamiento es aún más favorable para el cuidado del medio ambiente.

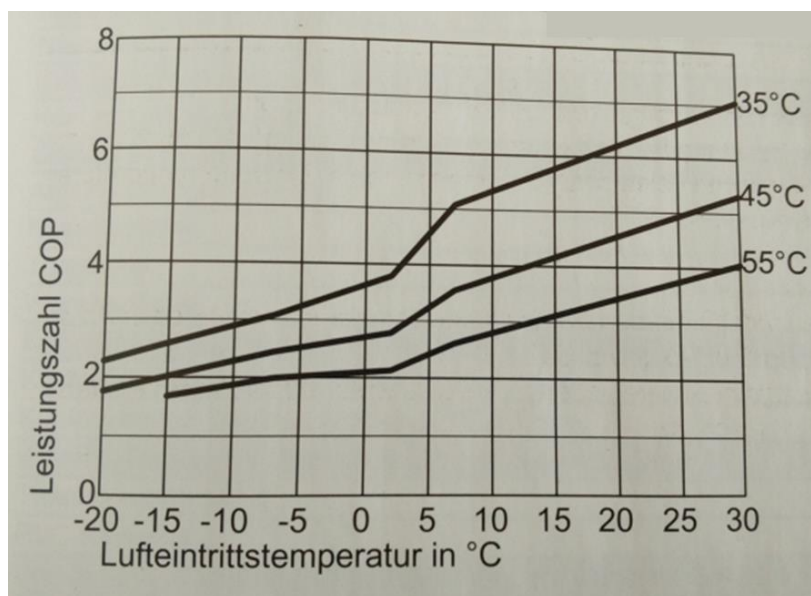


Figura 37. COP de una bomba de calor dependiente de la temperatura del aire y la temperatura del agua a calentar

**Fuente.** (Viessmann, 2015)

Para mantener un sistema con condiciones óptimas de salubridad, en normatividades alemanas se recomiendan temperaturas por encima de 60°C para evitar el crecimiento de la bacteria conocida como *legionela* en el interior del sistema cuando se encuentra entre 35 °C y 60 °C (Energie Experten, 2017). La guía Técnica Colombia 257 que se basa en la UNE 100030 es un poco más laxa al respecto cuando exige que la



temperatura mínima de almacenamiento nunca debe estar por debajo de 50°C más las pérdidas de temperatura por la transferencia inherente de calor al medio pero aún contempla el uso de cloro en bajas cantidades que es inocuo para la salud de los humanos pero evita la proliferación de la *legionela* (AENOR, 2005). La capacidad de crecimiento de este tipo de bacterias en el agua de consumo para los habitantes del recinto, puede disminuirse por medio de diferentes metodologías: en primera instancia, puede calentarse el agua sanitaria por encima de 60°C, temperatura a partir de la cual, la *legionela* no puede sobrevivir, contando con un COP menor que significa un mayor consumo eléctrico y finalmente, aumento en gastos de operación. En segunda instancia, la separación física del agua calentada en la bomba de calor y el agua a consumir promueve que se caliente el agua en el equipo a temperaturas inferiores a los 60°C y obtener así un alto COP y por medio de pequeños intercambiadores de calor en los apartamentos, calentar el agua de consumo hasta 40°C a partir de este primer flujo calentado por debajo de 60°C en la bomba de calor. De esta manera pueden tenerse temperaturas en la salida de la bomba de calor por debajo de 60°C y mantener un alto COP y bajos costos de operación pero una inversión inicial aumentada por la instalación de los intercambiadores de calor descentralizados o diseñar un sistema con un intercambiador de calor central más grande para todos los apartamentos. La tercera solución que aconseja dicha fuente, es una desinfección térmica semanal por medio de la cual, se haga pasar agua cuya temperatura supere 60°C por la red para desactivar cualquier crecimiento de la bacteria que se esté promoviendo. Este calentamiento se puede dar tanto a partir de la misma bomba de calor que significa un alto consumo eléctrico o un sistema de respaldo ya sea tradicional con combustibles fósiles u otra fuente de energía. Esquemas sobre una potencial instalación de sistemas de uso directo o indirecto del agua calentada en la bomba de calor se pueden apreciar en la figura que se encuentra a continuación.

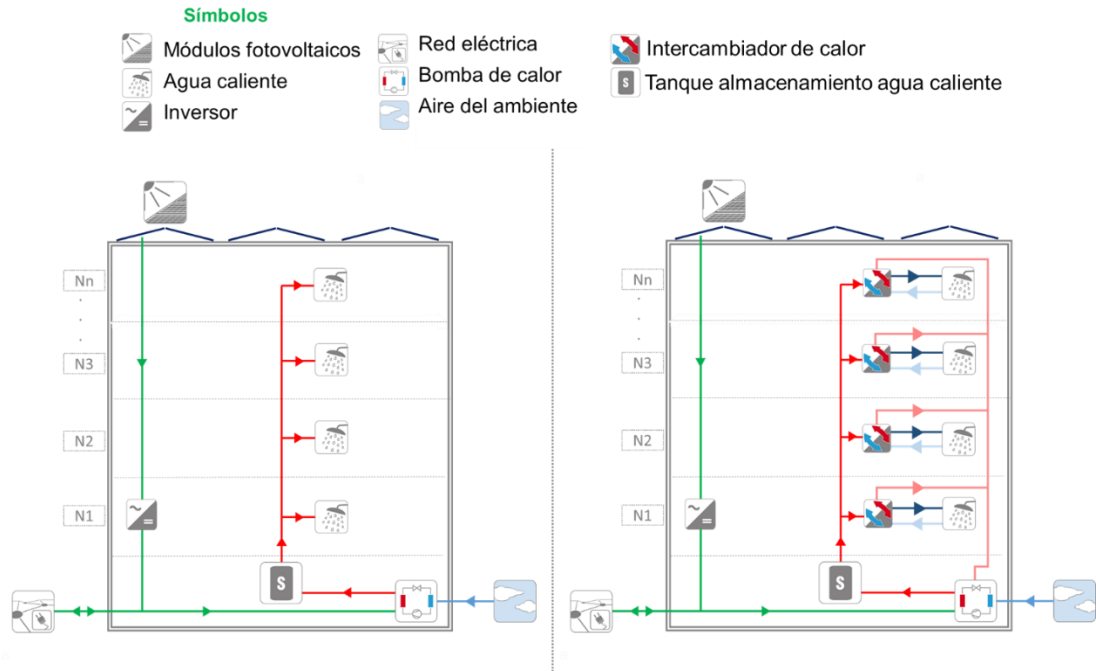


Figura 38. Esquemas de sistema de bomba de calor en edificios de varias viviendas

El Consejo Colombia de Construcción Sostenible en su Estándar CASA Colombia se refiere a un consumo diario por persona para una ducha de 76 litros, volumen de agua que para sensación de confort es calentada hasta unos 40 °C. Por medio de la ecuación

$$P_{t\acute{e}rmica} = \frac{\dot{m}}{\rho} \cdot \frac{c_p}{3600} \cdot (T_2 - T_1) \quad (11)$$

Donde

$$\begin{aligned} \frac{\dot{m}}{\rho} &= \text{agua a calentar} = 76 \frac{l}{\text{persona} \cdot \text{día}} & c_p &= \text{poder calorífico del agua} \\ &= 4,18 \frac{kJ}{l \cdot K} \end{aligned}$$

$T_2 = \text{Temperatura deseada } 313 \text{ K}$

$T_1 = \text{Temperatura inicial del agua } 289 \text{ K}$

$P_{t\acute{e}rmica} = \text{Potencia térmica en kWh/día}$

La temperatura del agua a calentar se supone por simplicidad cinco grados centígrados por debajo de la temperatura media del ambiente. En Contree se dispondrán 160 apartamentos de los cuales se aproximan 1,8 personas por unidad de vivienda. Por tanto el total del agua a ser calentada por la bomba de calor asciende a 22.000 litros al día, labor que puede dividirse en dos bombas de calor teniendo una en cada edificio y una potencia térmica total diaria de 635 kWh. Aunque la temperatura deseada sea de 40°C es necesario un calentamiento superior a esta temperatura dado que se deben contemplar las pérdidas por el transporte hacia los diferentes puntos de consumo a

través de las tuberías que presentar una mayor temperatura comparada a la del ambiente circundante, inevitablemente se efectúa una transferencia de calor que igualmente puede ser reducida por medio de un aislamiento térmico. La Figura 37 sugiere un COP de 3,5 para una temperatura deseada de 55 °C y mediante la ecuación

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{P_{t\acute{e}rmica}}{COP} \quad (12)$$

Donde

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \text{Potencia el\acute{e}ctrica de bomba de calor en } \frac{kWh}{d\acute{a}a}$$

De esta manera, se tiene una potencia el\acute{e}ctrica necesaria diaria de ambos edificios de 181 kWh<sub>el\acute{e}ctrico</sub> a que compartidos por todos los apartamentos que suman un \u00e1rea total \u00fasil de 14.091 m<sup>2</sup> sin contar los balcones y terrazas, se tiene un consumo de 4,7 kWh<sub>el\acute{e}ctrico</sub>/( m<sup>2</sup>·a).

La norma DIN EN 15450 muestra una demanda de energ\u00eda para agua caliente promedio por persona de 0,315 kWh/d\u00eda para m\u00e1quinas lavaplatos y 0,105 kWh/d\u00eda para labores de limpieza como demanda adicional de agua caliente en viviendas. En caso tal de considerar un escenario en el cual todos los apartamentos tengan estos equipos, se alcanzar\u00eda un nivel de demanda energ\u00e9tica de 3,73 kWh<sub>t\acute{e}rmico</sub>/d\u00eda por cada persona o 27,8 kWh<sub>t\acute{e}rmico</sub>/ (m<sup>2</sup> a) por todo el conjunto residencial.

Para determinar el tama\u00f1o o potencia de la bomba, se realiz\u00f3 un procedimiento de dimensionamiento basado en el m\u00e9todo expuesto en la norma EN 15450. Se supone un perfil horario de demanda seg\u00fan los valores expuestos para uso de agua caliente para duchas, lavar platos y tareas de aseo en general dentro de las unidades de vivienda a lo largo del d\u00eda. En este caso, se supone que dos personas en cada apartamento se ba\u00f1an entre las 7:00 AM y las 8:00 AM y, posterior a la jornada laboral se realizan tareas generales de aseo a las a las 6:00 PM y se enciende posteriormente el lavavajillas. En este perfil te\u00f3rico de consumo de agua caliente, se obtiene la mayor demanda en las ma\u00f1anas cuando se duchan los habitantes del recinto. Por tanto, la bomba de calor debe tener la capacidad de suplir toda esta energ\u00eda de 2,2 kWh para cada vivienda. Si se pretende calentar, el agua por encima de 60\u00b0C para evitar el crecimiento de *legionella*, y la temperatura del agua fresca se supone como 15\u00b0C, el volumen total de agua caliente que debe suplir en las ma\u00f1anas cada bomba de calor asciende a m\u00e1s de 5,3 m<sup>3</sup>. Por tanto, es necesario el almacenamiento de agua caliente en tanques aislados t\u00e9rmicamente para que el equipo pueda ir llenando el recipiente antes de que comience

este pico de demanda en las mañanas. La norma en cuestión señala que las pérdidas energéticas por almacenamiento pueden llegar a ser del 15% de la energía almacenada en forma de agua caliente y por tanto debe considerarse un calentamiento adicional para reemplazar este volumen que se va enfriando constantemente. De esta manera, se asciende a una demanda de almacenamiento que sobrepasa los 6 m<sup>3</sup>. Este volumen de agua que debe llevarse de 15°C a 65°C tiene el tiempo entre dos picos de demanda para ser calentado y almacenado, es decir, 10 horas que es el lapso entre 8:00 AM y 6:00 PM, equivalente a una potencia térmica aproximada de 40 kW que debe tener la bomba de calor.

Según la Encuesta de Calidad de Vida de la Alcaldía de Medellín, un usuario podría estar usando cerca de 50 a 60 m<sup>3</sup> al año de gas natural de los cuales 70% son para el calentamiento de agua, equivalente a 400 kWh al año de gas. Con un sistema central para todo el edificio, esta misma tarea podría cubrirse con tan solo 175 a 200 kWh por persona al año. Adicional a la reducción de demanda energética necesaria para el calentamiento de agua de los apartamentos, se cuenta con otros tres factores a favor:

- El Sistema Interconectado Nacional tiene como propósito diversificar su canasta energética para que las energías renovables tengan una mayor participación. Por tanto, al operar la bomba con electricidad, su funcionamiento será cada vez más limpio al disminuir paulatinamente la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a la generación de cada kWh de energía eléctrica
- Cuando se cuenta con un sistema fotovoltaico en el edificio y se opera la bomba con energía proveniente de estos módulos, cada kilovatio-hora de energía eléctrica utilizado pasaría de estar generando de 367 g de CO<sub>2</sub> a 40 g (Krey & Masera, 2014)
- La Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos (SAI) apunta a que los precios del gas y la electricidad se han venido equilibrando dando que no se encontraron los yacimientos que se tenían previstos (Ospina, 2016) y la oferta del Sistema Interconectado Nacional supone un aumento tanto en diversidad de fuentes como en capacidad de generación

La totalidad de estos consumidores de energía en zonas comunes se ven resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 17. Demanda de energía en zonas comunes de Contree

Consumidor	MWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Puerta principal	0,6	0,04
Ascensores	27	1,90
Iluminación	21	1,50
Turco	11	0,80
Bomba de calor	66	4,70

Estos consumidores de energía en las zonas comunes del edificio y la energía que se utiliza dentro de cada uno de los apartamentos componen la demanda total de energía de Contree en forma de electricidad y gas natural. La disponibilidad de generar energía eléctrica dentro de este sistema a partir de la instalación de módulos fotovoltaicos en las diferentes estructuras disponibles en el proyecto y los consumidores bajo los diferentes escenarios de demanda se resumen en la siguiente figura en donde se aprecia que bajo dos de estos escenarios propuestos, sería posible alcanzar un edificio que genere más energía de la que necesita.

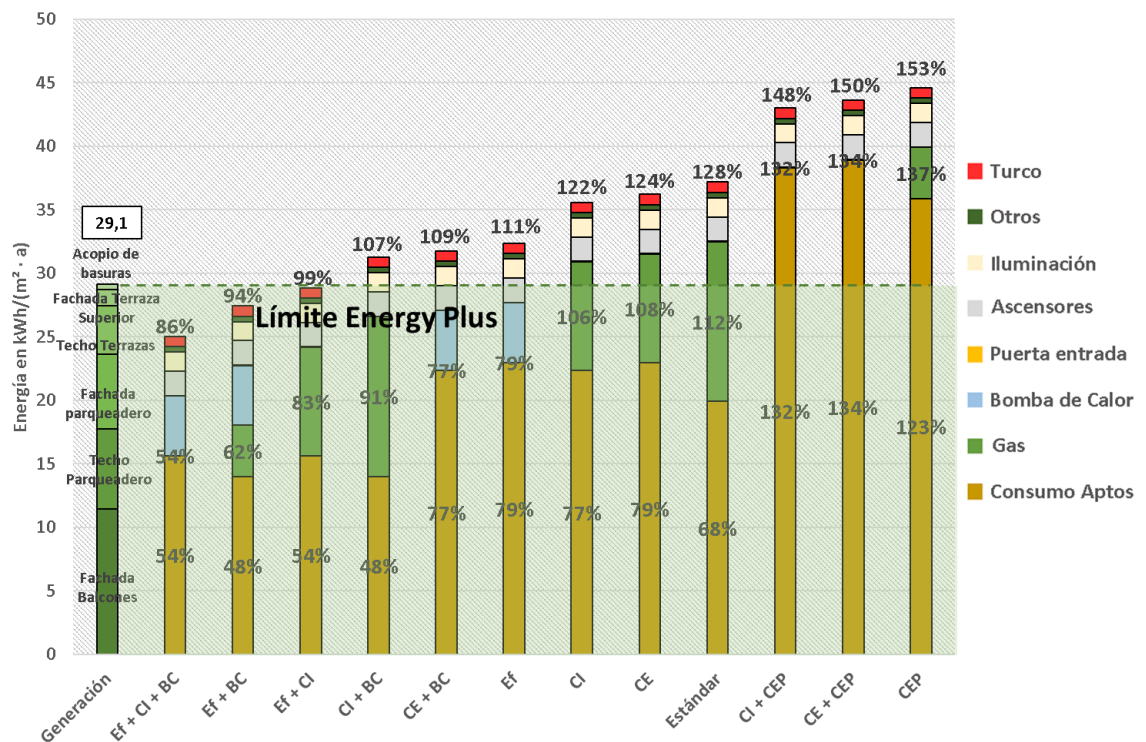


Figura 39. Generación y demanda de energía en Contree

El primer escenario de consumo energético menor a la capacidad de generación, el cual considera la instalación de electrodomésticos eficientes, procesos de cocción por medio

de estufas de inducción y calentamiento de agua sanitaria por medio de una bomba de calor central (Ef + CI + BC), asciende a un consumo de 25,0 kWh/(m<sup>2</sup>·a). El segundo escenario por medio del cual sería factible tener un *Energy Plus Building*, considera la instalación de electrodomésticos eficientes y calentamiento de agua sanitaria por medio de una bomba de calor (Ef + BC) y presenta un consumo de 27,4 kWh/(m<sup>2</sup>·a). El escenario que considera el calentamiento de agua con gas pero el uso eficiente de electrodomésticos, incluyendo la cocción con inducción alcanza de manera ajustada a generar más energía de la que se necesita para la operación con una demanda total de 28,8 kWh/(m<sup>2</sup>·a). A partir de estos escenarios, en los cuales ya no se considera la instalación de electrodomésticos de alta eficiencia, la demanda de energía sobrepasa la capacidad de generación local. Sigue un párrafo que se borra Cabe resaltar que, según el concepto inicial de CONTREE, la totalidad de los apartamentos del proyecto son para la venta en obra gris. Es decir, se entrega a los nuevos propietarios un apartamento que cuenta solamente con las acometidas eléctricas, grifería para suministro y desecho de agua y red de acceso a gas natural. Por tal motivo, la instalación de los electrodomésticos y/o equipos que sean alimentados con gas natural, depende totalmente del usuario y bajo esta metodología de entrega de la vivienda no es responsabilidad del constructor la elección e instalación de dichos equipos. Motivo por el cual, los escenarios que proponen un edificio que genera más energía de la que necesita son de carácter teórico. Como se expone en el Anexo A, el concepto energético que propone *Aktiv-Stadthaus* no ofrece al usuario la opción de instalar dentro de la vivienda electrodomésticos o gasodomésticos de baja eficiencia energética con el fin de asegurar siempre una baja demanda energética por parte de los distintos inquilinos del edificio. Es por esto que los apartamentos de este edificio se ofrecen solamente para el arriendo dado que vienen previamente dotados con estos equipos. El cubrimiento tanto parcial como total de la demanda energética en Contree frente a diferentes posibilidades de instalación de un sistema de generación de energía con fuentes renovables *in situ* se presenta en la Figura 40 en donde es posible apreciar que, aunque el cubrimiento total de energía en Contree (apartamentos + zonas comunes) se alcanzaría solamente con el cubrimiento de las zonas A,B,C,D,E y F de la Figura 23, puede considerarse la instalación de un sistema fotovoltaico más pequeño capaz de cubrir parcialmente estos requerimientos de energía bien sea por medio de un abastecimiento equivalente al consumo energético de zonas comunes o apartamentos. En estos casos, ya no podría hablarse de un Energy Plus Building dado que desde su definición, la magnitud de la energía generada de un edificio que cuente con esta distinción tiene que ser mayor a la

de la totalidad de su consumo. Por tanto, al cubrir parcialmente esta necesidad no se cataloga al edificio con tal estado pero aún se promueve en menor medida la inclusión de la transición energética en conceptos de construcción.

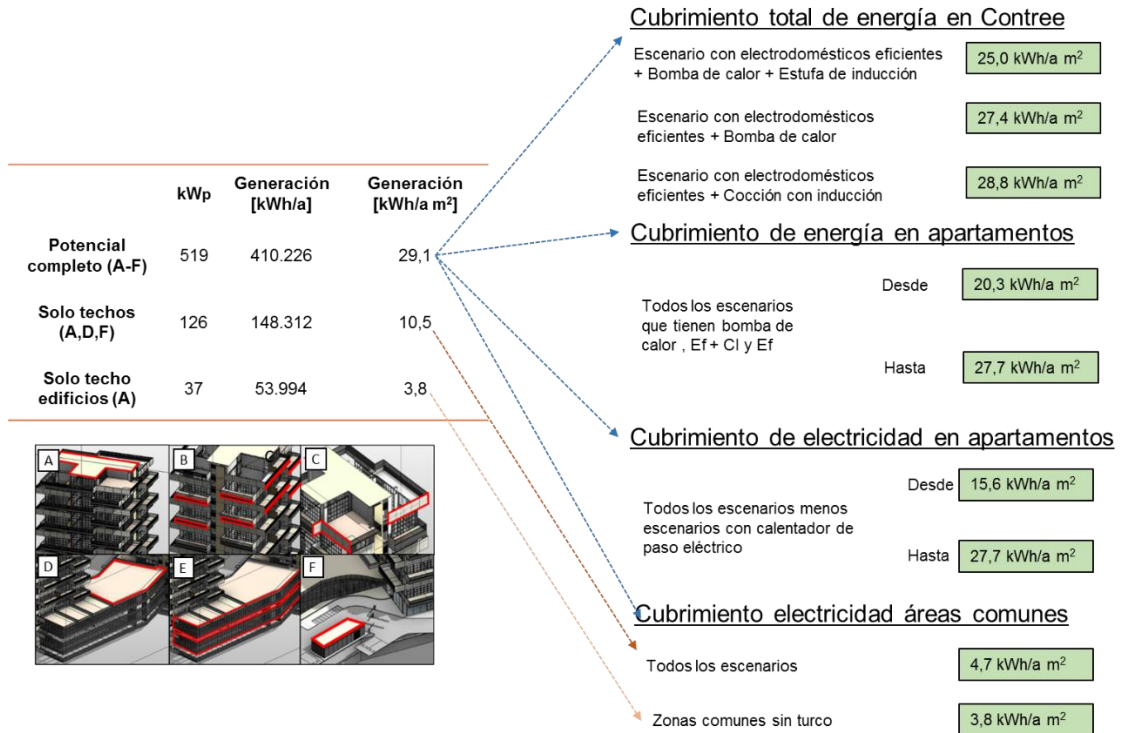


Figura 40. Cubrimiento de demanda con diferentes tamaños de planta fotovoltaica

### 6.3. AUTOCONSUMO Y CUBRIMIENTO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA POR MEDIO DE SISTEMA DE GENERACIÓN CON FUENTES RENOVABLES

La inclusión de una batería para almacenar excesos de energía generada por el sistema fotovoltaico para un uso posterior no se considera para esta situación en particular. Aunque esta tecnología promueva el uso en las noches de la energía producida en el día, los bajos precios de la energía eléctrica en Colombia, por su abundancia de recursos hídricos que, como se aprecia en la Figura 12 su participación en la matriz de generación puede ascender hasta un 70%, hacen poco rentables este tipo de inversiones. La integración de una batería da paso a un incremento significativo en el uso interno de la energía generada que, según el Ministerio del Interior y Construcción de Alemania, los edificios pueden incluso incrementar esta participación desde un 10% hasta un 60% y un aumento en el abastecimiento de la demanda con esta misma energía de un 20% a un 90% (2018) pero con la consecuente disminución en la exportación hacia la red. Por medio de estos equipos, el usuario reduce el pago por la

importación o uso de energía desde la red y así mismo, disminuye su venta de energía para otros consumidores. En el año 2018, Empresas Públicas de Medellín (EPM) vendió en promedio para el estrato 4, sector socioeconómico que no recibe ni paga cargos monetarios de contribución desde y hacia otros estratos, cada kWh a 454,11 COP teniendo en cuenta que para CONTREE, al estar situado en una zona de estrato 6, al precio de cada kWh comprado desde la red se le debe agregar un 20% para financiar parte de la energía de los estratos menos favorecidos. Por el lado contrario, por cada kWh que fuera a ser exportado o vendido a la red por el sistema fotovoltaico de este trabajo (considerando la instalación de todo el potencial) sería de 170,63 COP (EPM, 2018a). Por tanto, el uso de cada kWh generado *in situ* que evita tanto el pago por importación como la ganancia por exportación dejaría un saldo neto a favor cercano a los 283,48 COP. Aunque la instalación de una batería promueva este autoconsumo de energía y por tanto aumente las ganancias, significa en la mayoría de los casos en Colombia, un aumento tal en la inversión inicial, que ni siquiera este fomento en las ganancias es capaz de cubrir dicho pago. En países como Alemania, donde en promedio para el año 2018, cada kWh eléctrico importado desde la red tenía un valor de 1.039 COP (Strompreise, 2019), la inclusión de baterías para disminuir la frecuencia en el uso de esta energía transportada por la red, es mucho más rentable al tener tiempos para el retorno de la inversión mucho más cortos.

Con base en las curvas de demanda propuestas para la energía requerida por los apartamentos y las zonas comunes y la curva obtenida con la simulación del sistema por medio de PVSOL para la generación de la misma, se realizó de manera horaria un balance entre dicho consumo o salida de energía y generación o entrada durante todo el año para caracterizar la magnitud del autoconsumo y autoabastecimiento a través de una herramienta de cálculo diseñada por (EGS-Plan, 2014) que compara estas magnitudes de manera que si

$$\text{Energía generada}_{i,j} > \text{Demanda de energía}_{i,j} \quad (13)$$

Donde

$$i = \text{hora del día } j = \text{día del año}$$

Se supe la totalidad de la energía demandada y el exceso se exporta hacia la red. En cambio, si se tiene que

$$\text{Energía generada}_{i,j} < \text{Demanda de energía}_{i,j} \quad (14)$$



El sistema presenta un autoconsumo de la energía y una importación desde la red para completar el abastecimiento requerido de energía. Entendiendo por autoconsumo el cociente resultante entre la energía consumida que fue generada dentro del sistema y el total de la energía generada y autoabastecimiento representado como el cociente entre la energía consumida que fue generada dentro del sistema y la demanda total de energía.

En Colombia, el modelo bajo el cual se valora el precio de compra de energía eléctrica depende de diferentes factores que pueden ser variables en el tiempo. Cada unidad de energía vendida, en este caso kilovatio-hora tiene seis componentes cuya suma simbolizan el precio de venta para el usuario final bajo la ecuación (x) que expone (EPM, 2018a)

$$CUv = G + T + D + Cv + PR + R \quad (15)$$

Donde

$$CUv = \text{Precio unitario de venta} \quad G = \text{Precio de generación} \quad T \\ = \text{Cargo de transmisión}$$

$$D = \text{Cargo de distribución} \quad Cv = \text{Margen de comercialización} \quad PR \\ = \text{Costo de pérdidas}$$

$$R = \text{Costo de restricciones}$$

Según la Resolución 030 de 2018 del Ministerio de Minas y Energía, los sistemas fotovoltaicos con una capacidad instalada menor o igual a 100 kW<sub>p</sub> tendrán un precio de venta o exportación a la red de cada kilovatio-hora valorado por la adición de todos los sumandos de la ecuación 15 menos el margen de comercialización (Comisión Reguladora de Energía y Gas, 2018). En caso tal de que el sistema fotovoltaico tenga una capacidad instalada mayor a 100 kW<sub>p</sub> pero siga siendo considerado un sistema de autogeneración a pequeña escala como lo indica la Resolución 281 de 2015, es decir, menor o igual a 1 MW<sub>p</sub>, (Director General de la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, 2015) tendrá un precio de venta valorado solamente como el componente G o precio de generación.

El valor promedio en el año 2018 para estos seis factores se muestra en la en donde se aprecia que el precio de venta de energía para un sistema fotovoltaico mayor a 100 kW<sub>p</sub> es de 410,98 COP y si su tamaño está entre 100 kW<sub>p</sub> y 1000 kW<sub>p</sub> es posible exportar energía a un precio de 170,63 COP.

Tabla 18. Precio promedio de 2018 de la energía eléctrica en Medellín en COP

<b>CU</b>	<b>G</b>	<b>T</b>	<b>D</b>	<b>Cv</b>	<b>P</b>	<b>R</b>
454,11	170,63	31,19	144,28	43,14	32,49	32,38

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (EPM, 2018a).

El marco legal actual colombiano promueve que los proyectos que pretendan la inclusión de fuentes renovables para las diferentes tecnologías de generación energética, obtengan diferentes beneficios financieros como se expone en el numeral 3.4. de este trabajo, entre los cuales se destaca la exención en el pago del impuesto al valor agregado (IVA) en la compra de equipos y servicios afines. De esta manera, CELSIA propone que actualmente en Colombia, cada kilovatio-pico instalado (compuesto aproximadamente de cuatro paneles solares) puede tener un precio estimado en el mercado de 1.000 USD de los cuales solo el 30% son costos asociados a los paneles y la fracción restante se refiere a los componentes adicionales requeridos para su funcionamiento (2018). De esta manera, considerando la totalidad del área disponible en CONTREE para la instalación de un sistema fotovoltaico capaz de generar más energía de la que requieren todas las operaciones dentro de los edificios, se tiene el siguiente escenario:

Tabla 19. Distribución de energía en CONTREE bajo escenario donde se alcanza el estado Energy Plus Building

<b>Capacidad instalada (kW<sub>p</sub>)</b>	519,2
<b>Energía generada (kWh/año)</b>	410.226
<b>Demanda de energía (Escenario “Ef+Cl+BC” + zonas comunes) (kWh/año)</b>	352.674
<b>Uso de energía generada (kWh/año)</b>	160.738
<b>Uso de energía generada (%)</b>	39
<b>Cubrimiento de demanda (%)</b>	46
<b>Importación desde red (kWh/año)</b>	191.936
<b>Exportación hacia red (kWh/año)</b>	249.489

Teniendo para esta situación entonces un precio de compra de energía de la red de 454,11 COP/kWh, precio de venta de energía a la red de 170,63 COP/kWh, precio de inversión de cada kW<sub>p</sub> total (considerando costos adicionales como inversores, cableado, montaje, mano de obra, entre otros) de aproximadamente 3.300.000 COP/kW<sub>p</sub> o 1.000 USD/kW<sub>p</sub> se tiene el siguiente escenario:

Tabla 20. Entorno financiero en CONTREE bajo escenario donde se alcanza el estado *Energy Plus Building*

<b>Costo de energía sin FV (MM COP/año)</b>	160
<b>Ahorro por uso de energía producida (MM COP/año)</b>	73
<b>Exportación o venta de energía a la red (MM COP/año)</b>	43
<b>Costo de energía con FV (MM COP/año)</b>	45
<b>Ingresos anuales (MM COP/año)</b>	115
<b>Inversión de instalación (MM COP)</b>	1.683
<b>Retorno simple de inversión (años)</b>	14,6

De esta manera, se estima que la inversión realizada en el sistema fotovoltaico requerido para hacer que CONTREE sea catalogado como un *Energy Plus Building* retornaría en un período aproximado de 14 años cuando no se tiene instalada una batería para el almacenamiento de energía eléctrica generada dentro del sistema en cuestión. El Ministerio Alemán del Interior y Construcción (2018) estima un valor aproximado de inversión de 1.200€ por cada kilovatio-hora de capacidad de la batería cuando estos equipos son instalados en edificios multifamiliares. Por tanto, para diferentes tamaños de batería sobre el mismo sistema caracterizado en la Tabla 19 se tiene el siguiente comportamiento:

Tabla 21. Comportamiento del Sistema fotovoltaico con diferentes tamaños de batería

<b>Capacidad batería (kWh)</b>	<b>Uso de energía generada (%)</b>	<b>Cubrimiento de demanda (%)</b>	<b>Retorno simple en años</b>
0	39	46	14,6
50	45	49	15,5
100	48	53	16,8
200	55	60	19,1
300	60	66	21,3
400	66	72	23,4
500	71	77	25,4

Como fue mencionado anteriormente, aunque la instalación de la batería promueva un saldo a favor por cada kWh que sea generado y consumido en el interior del sistema, el precio de la energía eléctrica en Colombia tiene un precio muy bajo comparado con el costo de inversión de estos equipos y por tanto con el aumento en la capacidad de almacenamiento se hace cada vez menos atractiva una inversión en estos equipos. El dimensionamiento óptimo de estos equipos se calcula por medio del SOC por sus siglas en inglés *State of Charge* o estado de carga, magnitud que muestra para un momento

determinado del día qué tan llena se encuentra la batería. A través del seguimiento de estas curvas, se pretende tener una batería cuya carga y descarga de electricidad sea lo más continuo posible entre el nivel mínimo de carga configurado en la batería, que generalmente ronda el 20% de su capacidad y el nivel máximo o 100% de capacidad. La figura muestra para tres tamaños teóricos de batería instalada en el escenario de la Tabla 19 como sería el SOC en caso tal de la instalación de una batería pequeña o subdimensionada para el sistema (gráfica superior) donde la carga y descarga son inmediatas (tendencia casi recta) y por tanto se tienen períodos más largos con la batería descargada, una batería acorde para el sistema (gráfica del medio) con ciclos de carga y descarga más amplios pero aun así en gran proporción son completos y una batería sobredimensionada para el sistema (gráfica inferior) donde no se alcanzan a dar ciclos completos.

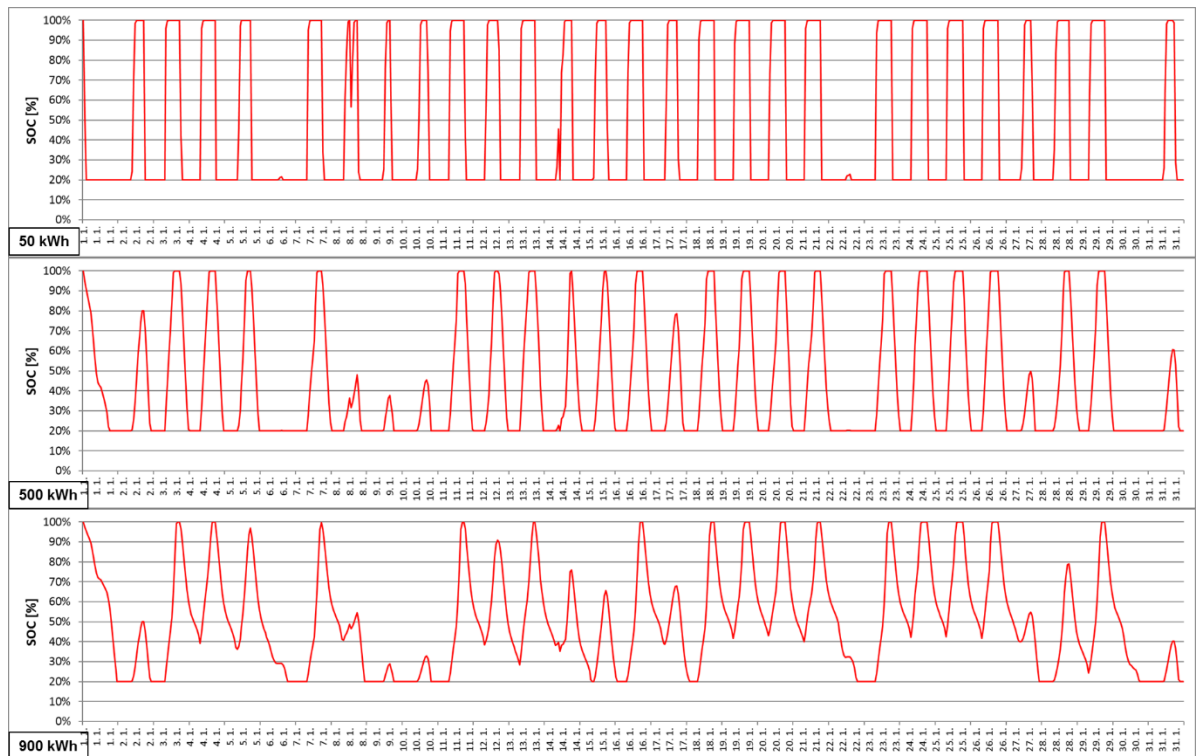


Figura 41. SOC para el mes de enero de tres tamaños de batería

Bajo el sistema propuesto en este trabajo, en donde una planta fotovoltaica se encarga de proporcionar parte de la demanda de energía de un conjunto residencial, es necesario definir una entidad que se encargue de proporcionar un monitoreo constante y asegurar un desempeño óptimo del sistema para que efectivamente se puedan cumplir metas de reducción de emisiones de GEI, confort de los usuarios y sobretodo, demostrar

la validez de un nuevo paradigma de construcción de viviendas en Colombia en temas de sostenibilidad.

El esquema que muestra la figura Figura 42 hace énfasis en que en ningún momento, los habitantes del edificio son dueños como tal del sistema fotovoltaico dado que cuando se consume energía en el interior del hogar, es indiferente si el origen del servicio es el edificio mismo o la red común del operador. La red eléctrica a diseñar en el edificio por ende debe estar configurada de tal manera que dé prioridad a la entrada de energía generada localmente a los apartamentos y zonas comunes para asegurar un alto nivel de autoconsumo de este servicio y, dado que no se planea la instalación de una batería, frente a casos de excesos de generación, exportar dicho excedente y cuantificarlo por medio de un contador bidireccional instalado en la red del operador. Esta planta puede ser operada por la constructora misma, un tercero o buscar aliados en los proveedores mismos de energía y así controlar la energía anualmente generada (EG), el exceso de energía (EE) que se exporta y el auto consumo de la misma (EAC).

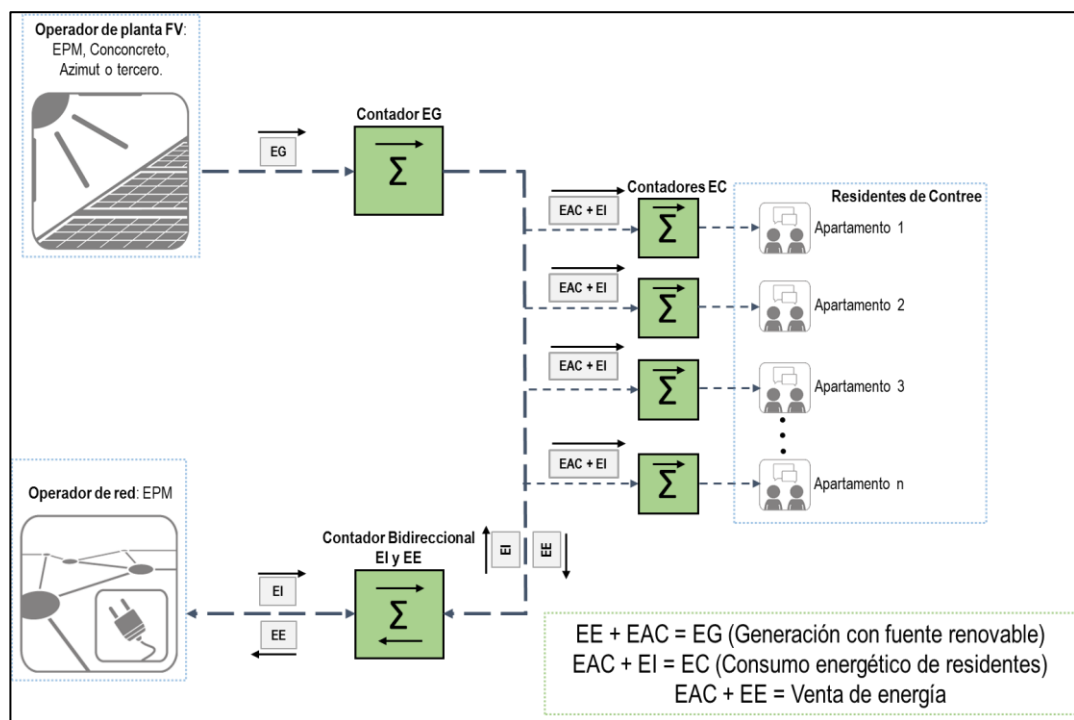


Figura 42. Esquema de uso energético en edificios de varias viviendas

Cada unidad de vivienda de CONTREE puede contar con dos contadores de energía para registrar el consumo mensual y rastrear el origen del servicio entre la planta local y la red común. El pago por la totalidad de la energía se le efectúa al operador de la planta quien recibe dinero por haber prestado el servicio de electricidad y a su vez sirve

de intermediario entre los usuarios y el operador de red cuando le entrega el pago a esta última parte involucrada por la importación de energía. Adicionalmente, la energía que no fue consumida por los residentes, que queda registrada por el operador de la planta, es vendida al operador de red para que la distribuya a otros puntos de consumo externos al edificio. Lo anterior se aprecia en el siguiente esquema:

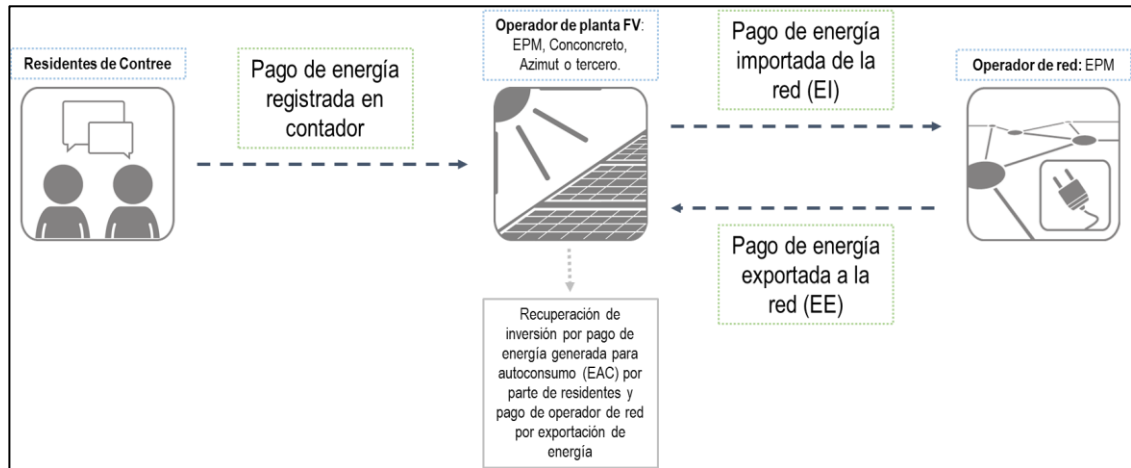


Figura 43. Esquema de pago por energía eléctrica en edificios de varias viviendas

#### 6.4. FÍSICA DE LA CONSTRUCCIÓN O FÍSICA DE LAS ESTRUCTURAS

El diseño de las diferentes estructuras físicas que dan forma al edificio como paredes, techos, y ventanas conocidas comúnmente como la “envolvente” es un factor clave en la mayoría de los edificios catalogados como *Energy Plus* puesto que su integración correcta en el concepto del edificio es la medida pasiva por excelencia (medidas que no requieren de equipos alimentados energéticamente por alguna fuente) que promueve el confort térmico, lumínico, acústico y de humedad en el interior del edificio al mismo tiempo que proveen un aislamiento físico que reduce gastos energéticos en acondicionamiento del ambiente interior. Este campo estudia el desempeño de los materiales involucrados en las diferentes partes de los edificios y su interacción con el usuario y el ambiente circundante.

Particularmente, por las condiciones ambientales de Medellín, ciudad donde se plantea el caso de estudio, los requerimientos para edificios en cuestiones de la envolvente evaluados bajo estudios de la llamada física de estructuras, no han sido tradicionalmente extensos ni complejos, puesto que no se presenta la lejanía entre el nivel de confort y las condiciones normales del ambiente que sí presentan las zonas donde se tienen altas o bajas temperaturas, altos niveles de humedad, entre otros. De

manera general, los estudios de física de la construcción pretenden moldear o manipular a interés la transferencia del calor en edificios a través de la aplicación de diferentes técnicas que tradicionalmente se han encaminado en diseñar cómo, para climas fríos por medio de las tres vías de transferencia del calor (conducción, convección y radiación), se procura en la mayor medida posible mantener esta energía en el interior del edificio y para climas cálidos, reducir el flujo de energía hacia adentro del edificio. En este caso particular, desde el concepto inicial de los constructores del edificio, se tiene presupuestado la exclusión de cualquier sistema eléctrico u operado con otros energéticos que pretenda regular las condiciones térmicas dentro de los edificios. Esto es, evitar a toda costa medidas activas que fomenten el confort como calefacción, aire acondicionado, ventiladores eléctricos, ventilación con recuperación de calor, entre otros sistemas demandantes de energía. La idea consiste en que el diseño mismo del edificio promueva métodos pasivos que promuevan el confort de los habitantes sin tener que hacer uso de estos equipos. Particularmente, la ciudad de Medellín durante las horas de sol puede superar el rango de temperaturas de confort que, según el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio se encuentran entre 21 °C y 25 °C con una humedad relativa entre 20% y 75% (2015). Una metodología comúnmente aplicada en estudios de física de las estructuras para evitar un sobrecalentamiento del interior de los edificios por la entrada de energía solar a través de las ventanas y/o superficies transparentes, es el uso de recubrimientos o diversas capas de vidrio que minimicen tanto la absorción de energía hacia el interior como la transmisión de la misma como se observa en la Figura 44 donde  $q_{sol}$  representa el flujo de energía del sol sobre la ventana,  $\alpha q_{sol}$  es la fracción absorbida que luego se transmite hacia adentro ( $q_i$ ) o hacia afuera ( $q_e$ ) y  $\tau q_{sol}$  representa finalmente la fracción que es transmitida a través de esta superficie.

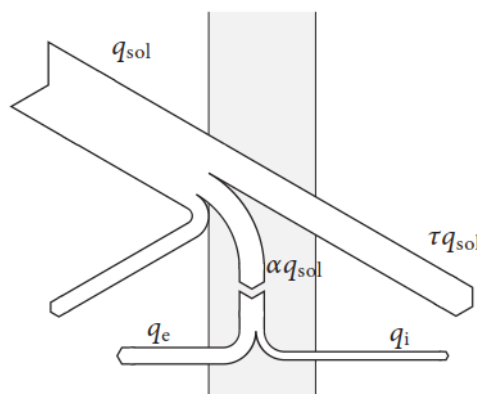


Figura 44. Ganancia de energía a través de superficies transparentes

**Fuente.** (Pinterić, 2017).

Tanto las fracciones de la energía incidente denominadas como  $\tau$  como  $q_i$  son consideradas como los factores de estudio por medio los cuales, al ser reducidos, se presenta un decrecimiento en la ganancia de energía en el interior del edificio por medio del sol. El término *Solar Heat Gain Coefficient* (SHGC) se conoce entonces como la suma de estas dos fracciones e indica finalmente qué tanta energía incidente sobre un cristal es transferida a través de la superficie. Este coeficiente, dado que se refiere a una magnitud de energía solar, viene acompañado también de luz y por tanto, generalmente un alto SHGC lleva también a una alta transmitancia de luz. Actualmente, por medio de tecnologías particulares es posible separar los factores de transmisión de energía (SHGC) y transmitancia de luz (VT) que vienen asociados en la radiación solar. Es decir, es posible proveer una alta fracción de luz incidente para tener una habitación iluminada sin que se caliente en exceso al tener revestimientos de baja emisividad que reducen la transferencia de calor por radiación sin afectar notoriamente la visibilidad (Glew Engineering, 2017). Estos factores consideran la totalidad de la ventana y no solo el cristal, por tanto el marco también juega un papel importante en la cuantificación del paso de energía y luz a través de ventanas. La Figura 45 presenta niveles estándar según diferentes acristalamientos y materiales para el marco aumentando su complejidad de abajo hacia arriba en la gráfica y empezando en la parte inferior con una sola capa de cristal con un marco de aluminio que presenta altos niveles de transmitancia de la luz y ganancia solar, así como un alto U o coeficiente global de transferencia de calor, cuya magnitud es el inverso de la resistencia térmica de la ventana.

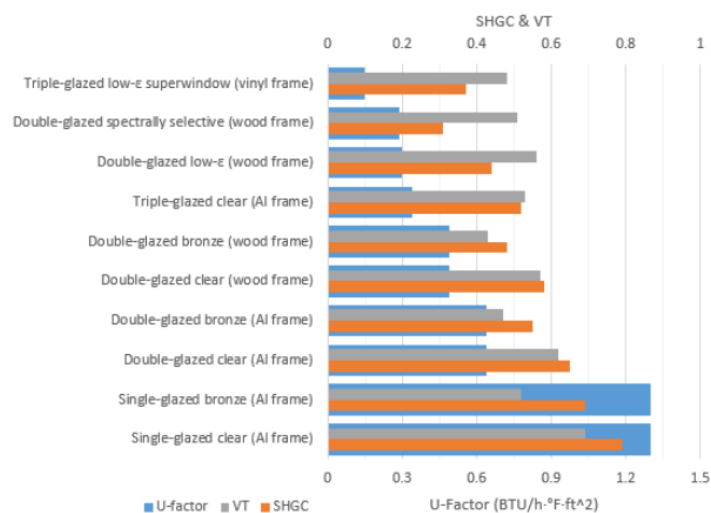


Figura 45. Valores estándar para SHGC, VT y U según diferentes tipos de acristalamiento y marcos

**Fuente.** (Grondzik, Kwok, & Stein, 2009)



Una alta transmitancia de luz reduce la necesidad de recurrir a iluminación artificial para realizar las diferentes labores en el interior de las viviendas y por tanto, reduce la demanda de energía eléctrica. Es por esto que se plantea la instalación de ventanas y demás superficies de cristal para CONTREE que cuenten con la mayor VT siempre y cuando el SHGC no sea muy alto dado que promueve temperaturas en el interior superiores al rango sugerido para el confort térmico. A través del *software Design Builder* se realizaron simulaciones de iluminación diurna del edificio a través de diferentes niveles de VT para evaluar la magnitud en la cual el coeficiente de luz diurna se ve afectado por la variación en estos niveles. Dicho coeficiente que según (Ministerio de Minas y Energía, 2010) está dado por la ecuación

$$CLD = \frac{\textit{iluminancia promedio interior}}{\textit{iluminancia exterior}} \cdot 100 \quad (16)$$

expresa qué tanto de la iluminancia exterior proveniente del sol alcanza a ingresar al edificio a la altura del plano de trabajo. En este caso la evaluación de la luz diurna sobre los apartamentos de CONTREE se realizó siguiendo el procedimiento habitual para las certificaciones comunes de sostenibilidad en edificios en los cuales se emplea como parámetros de entrada la simulación en un día nublado según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y con un plano de medición a 75 centímetros sobre el suelo (Mardaljevic, 2012). En estas simulaciones se tomaron diferentes valores de transmitancia de la luz empezando en 0,8 para un cristal corriente disminuyendo en pasos de 0,1 hasta 0,5, valor a partir del cual se considera como un *solar control glass* o vidrio de protección solar.

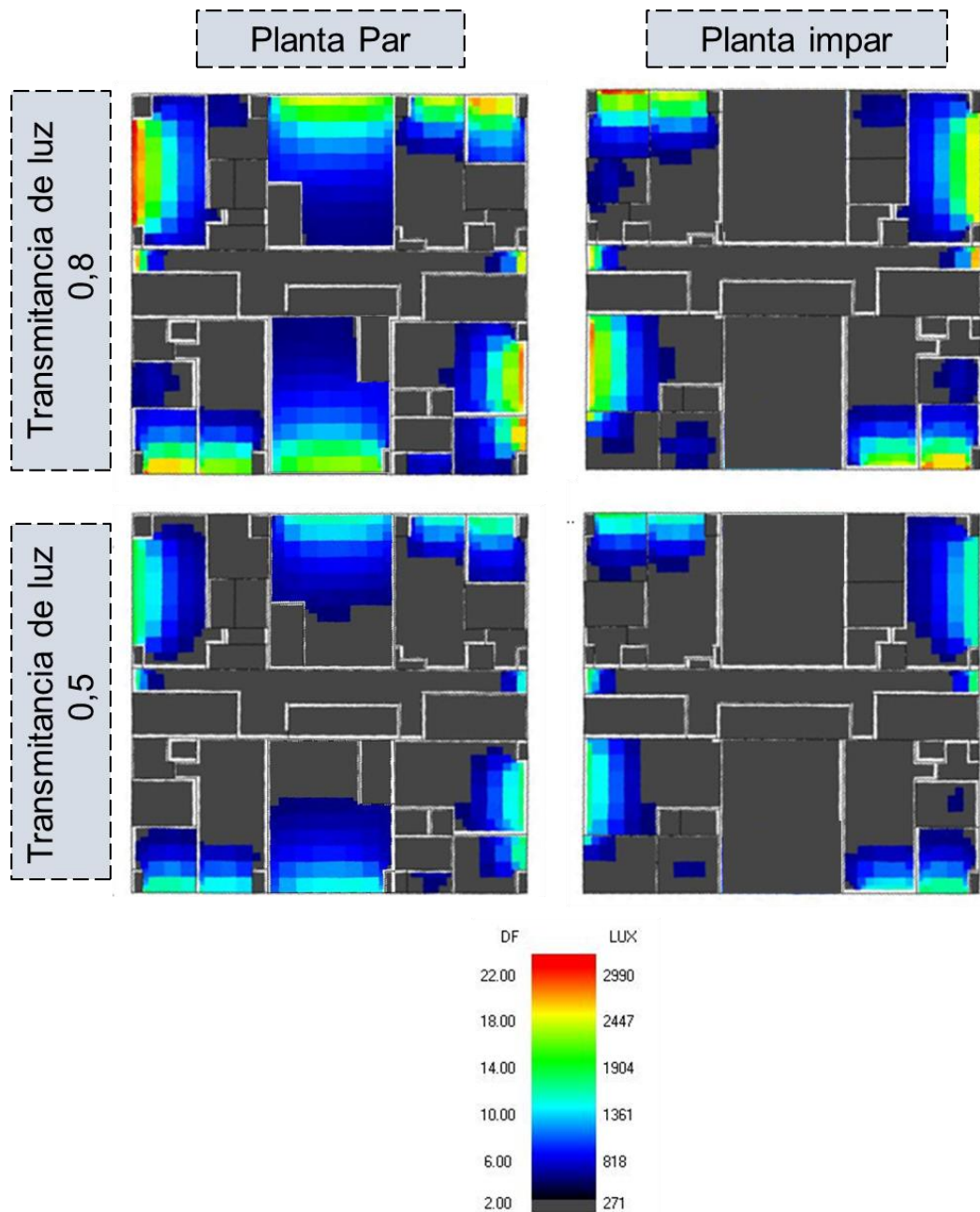


Figura 46. Coeficiente de luz diurna en piso par e impar de CONTREE con diferentes niveles de transmitancia de luz

Esta figura representa los apartamentos de CONTREE con dimensiones reales de habitaciones y ventanas basados en planos y modelos 3D entregados por personal de Conconcreto. Las cuatro representaciones gráficas muestran cómo se dispersa la luz entrante por las ventanas de las unidades de vivienda, teniendo en cuenta que generalmente los niveles de iluminación natural son de interés en las habitaciones de tránsito o compartidas. Es decir, cocina, comedor, sala y corredores. Para baños y alcobas no se promueve la prevalencia de iluminación natural puesto que durante el día

se suponen como habitaciones desocupadas, de corta estancia o de niveles relativos de iluminación para el confort visual. La simulación se llevó a cabo tanto para niveles pares como impares, dado que la ubicación de las ventanas varía entre estos niveles. Es decir, los pisos pares tienen la misma orientación de ventanas al igual que todos los pisos impares. Se evidencia como por medio de un acristalamiento que reduce la cantidad de luz entrante a los apartamentos proveniente del sol, se da un decrecimiento en los niveles de iluminación en el interior, que en este caso son expresados bajo el Sistema Internacional de Unidades en lux o lúmen/m<sup>2</sup>.

Los resultados de las simulaciones de iluminación natural de la Tabla 22 **Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** muestran cómo a medida que se tiene un sistema de acristalamiento más complejo, partiendo de un VT de 0,8 para un cristal corriente, se disminuye progresivamente el factor de luz diurna promedio en las zonas de tránsito, se reduce también el porcentaje de estas zonas que tiene un coeficiente por encima del 2% (nivel sugerido en estándares y certificados como *Aktivplus*, *CASA*, *LEED* o *DGNB*), se obtienen menores niveles de iluminación máxima pero se tienen niveles de uniformidad prácticamente constantes al ser dependientes del tamaño de las aberturas para el ingreso de luz.

Tabla 22. Iluminación natural en diferentes apartamentos

Transmitancia de luz		0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5
Característica		Coeficiente de luz diurna promedio (%)				% Área > 2%			
Impar	NE	7,7	6,4	5,7	4,7	99	96	94	87
	NO	3,4	2,8	2,4	2,0	41	34	33	29
	SE	3,2	2,6	2,4	1,9	39	38	34	28
	SO	5,6	4,7	4,1	3,3	65	60	60	51
Par	NE	3,1	2,6	2,3	1,8	35	34	30	23
	NO	8,6	7,1	6,1	4,8	100	98	97	85
	SE	5,2	4,3	3,8	2,9	63	58	55	45
	SO	3,5	3,0	2,6	2,0	38	37	35	26
-	Duplex N	6,3	5,4	4,6	3,8	100	93	81	71
	Duplex S	6,0	5,2	4,4	3,6	99	90	78	69

Transmitancia de luz		0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5
Característica		Iluminación Máxima (lux)				% Uniformidad (CLDmin/CLDprom)			
Impar	NE	2.447	2.058	1.773	1.448	16	14	17	18
	NO	2.310	1.954	1.660	1.356	4	3	3	3
	SE	2.347	1.985	1.687	1.354	4	3	4	4
	SO	2.749	2.304	1.964	1.591	16	16	16	16
Par	NE	2.292	1.951	1.652	1.328	3	3	3	3
	NO	3.031	2.542	2.152	1.705	19	18	19	18
	SE	2.737	2.285	1.968	1.546	15	15	15	16
	SO	2.503	2.111	1.795	1.438	3	3	3	3
-	Duplex N	2.342	2.005	1.696	1.373	30	32	31	31
	Duplex S	2.119	1.811	1.535	1.236	31	31	32	31

Se resalta entonces que, un acristalamiento con un VT de 0,5 en CONTREE no solo mantiene un coeficiente de luz diurna promedio mayor a 2% (a excepción de los apartamentos sudeste de la planta impar con 1,9% y nordeste de la planta par con 1,8%) sino que también se encuentran en el mercado, para estos acristalamientos, referencias con un bajo SHGC que evitan el sobrecalentamiento de las zonas interiores de los apartamentos siendo el nivel más sencillo de los llamados *solar control glasses*.

## **6.5. CALIDAD DEL AIRE**

Como se mencionó anteriormente, la iniciativa de desarrollar conceptos de edificios que sean eficientes en el manejo de la energía en Alemania surge ante la necesidad de cambiar el rumbo de la inercia creciente de las emisiones de CO<sub>2</sub> que le son asociadas a este sector. Particularmente, la premisa alemana de “construir lo más herméticamente posible” minimiza las transferencias de masa y energía hacia el ambiente en épocas de bajas temperaturas que, ante ventajas y desventajas, viene dirigiendo los diseños de edificios tanto para vivienda como para el campo comercial en dicho país. Esta máxima pretende sobretodo reducir la demanda energética de acondicionamiento de espacios interiores al tratarse de la mayor fuente de consumo de este servicio, alcanzando incluso niveles cercanos al 70% del total de la demanda en el sector de viviendas como se muestra en la Figura 47. Dado que un edificio hermético reduce el intercambio de aire con el ambiente con el fin de mantener el calor en el interior y así, recurrir a un menor consumo energético por calefacción, en las épocas donde se requiere la operación de estos equipos, se reduce considerablemente la apertura de ventanas para evitar pérdidas de aire caliente. Esto lleva comúnmente a la saturación de la capacidad del aire interior de soportar el agua y por tanto, a la condensación sobre las diferentes superficies de las habitaciones. (Biomess, s. f.) Cuantifica incluso la cantidad de agua que puede estarse liberando en el interior de las viviendas diariamente como 1,0 a 1,5 litros por persona, 0,5 a 1,0 litros por procesos de cocción, 0,5 a 1,0 por una ducha y 0,5 a 1,0 litros por plantas. Toda esta humedad generada diariamente debe ser liberada al ambiente para evitar problemas en la estructura misma del edificio, proliferación de organismos causante de enfermedades respiratorias y discomfort visual u olfativo. Aunque la solución más simple es la apertura de ventanas para promover la entrada de aire fresco insaturado, esto implica un intercambio de materia y energía que reduce la temperatura del interior del edificio afectando también el confort térmico de los usuarios y llevando a un consumo extra de energía para reponer el aire caliente saliente. Por consiguiente diferentes tecnologías en el ámbito de la ventilación se han venido

desarrollando con el fin de regular los niveles de humedad con la menor implicación negativa en el consumo de energía destinado para la calefacción. A estas tecnologías de reposición del aire para mantener niveles aceptables de humedad y dióxido de carbono se les atribuye también un gasto energético cuya disminución es también de especial interés en este tipo de metodologías o estándares para la construcción. Cabe resaltar que tanto en Medellín como en otras ciudades de Colombia, por las condiciones climáticas no se tiene la necesidad de adecuar la temperatura interna de los edificios por medio de calefacción y por tanto es posible regular los niveles de humedad y dióxido de carbono por medio de la ventilación natural. Adicionalmente, la energía asociada a la operación de estos equipos técnicos de ventilación o calefacción por medios eléctricos (bombas de recirculación para calefacción por medio de bombas de calor) también es ausente y por tanto, se cuenta con un consumo eléctrico menor mensual comparado con el promedio de Alemania.

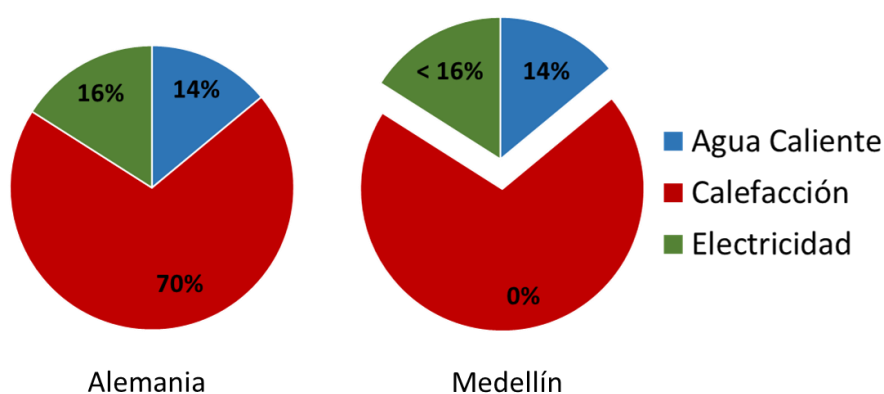


Figura 47. Demanda de energía en el sector de vivienda en Alemania y Colombia

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2018)

En Alemania la norma DIN 1946-6 expone los parámetros mediante los cuales se deben tener los niveles mínimos de renovación de aire en el sector de vivienda según diferentes metodologías tanto por métodos naturales como mecánicos. El criterio principal para determinar los requerimientos mínimos de ventilación se rige por la inecuación dada por (DIN, 2018)

$$q_{v,ges,NE,FL} > q_{v,Inf,Wirk,Konzept} \quad (17)$$

Donde

$$q_{v,ges,NE,FL} = \text{volumen de aire mínimo para el cuidado de la humedad en } \frac{m^3}{h}$$

$$q_{v,ges,NE,FL} = \text{volumen de aire a través de infiltraciones en } \frac{m^3}{h}$$

Cuando la cantidad de aire necesaria para el cuidado de los niveles de humedad no se alcanza solamente con las infiltraciones (cumplimiento de la inecuación), es imperativo el uso de algún sistema de ventilación bajo la norma. En caso tal de incumplirse esta condición, la implementación de un sistema particular de ventilación se puede dar simplemente por motivos de higiene o interés del usuario. Bajo la metodología propuesta por la norma y teniendo como punto base para CONTREE un área útil de vivienda de aproximadamente 80 m<sup>2</sup> para los apartamentos de una sola planta y una altura de 2,8 m, se tiene un valor de renovación de aire para la humedad de 26,5 m<sup>3</sup>/h y un volumen por infiltraciones de 24 m<sup>3</sup>/h y por tanto exige un sistema de ventilación ya sea mecánico o natural si fuera construido dentro del territorio alemán. Dadas entonces las condiciones ambientales de la ciudad de Medellín donde la temperatura promedio anual es de 22,5°C y la humedad relativa del 67% (IDEAM, 2012) como se muestra en la Figura 48, se cuenta con la ventaja de optar por sistemas de ventilación natural que no significan consumo energético alguno.

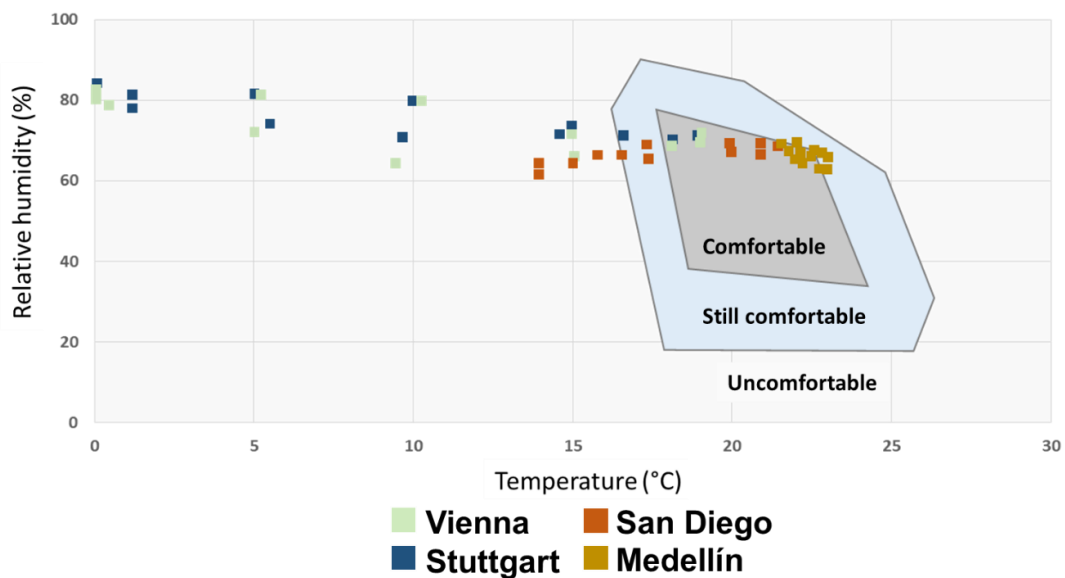


Figura 48. Condiciones climáticas a lo largo del año en ciudades donde se han realizado proyectos de Energy Plus Buildings o Zero Energy Buildings y Medellín

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Viessmann, 2011) para condiciones de comodidad, (IDEAM, 2012) para condiciones de Medellín y (Climate-Data, 2018) para resto de ciudades.

*Institut Wohnen und Umwelt* recomienda para viviendas de aproximadamente 75 m<sup>2</sup> ventilar cada 90 o 120 minutos para renovar el aire interior y en una vivienda de 140 m<sup>2</sup> entre 3 y 4 horas dado el mayor volumen de aire. Adicionalmente, por motivo de higiene y salud, sugiere que la concentración de CO<sub>2</sub> no exceda el coeficiente de *Pettenkofer* cuyo valor se remite a 1.000 partes por millón (ppm) (2012).

*Tabla 23. Generación de dióxido de carbono dentro de edificios y tasas de renovación requeridas para mantener una buena calidad del aire*

<b>Actividad</b>	<b>CO<sub>2</sub> exhalado en litros/hora</b>	<b>Aire fresco necesario en m<sup>3</sup>/hora</b>
Dormir/Descansar	10 – 13	17 - 21
Leer ver televisión	12 – 16	20-26
Trabajo de escritura o computador	19 – 26	32 – 43
Trabajo de casa	32 – 43	55 – 72
Ejercicio físico	55 – 75	90 - 130

CONTREE cuenta con 5 apartamentos diferentes según la distribución de sus particiones internas y ventanas, de los cuales uno de ellos es una vivienda de dos niveles. Para cada uno de estos se plantea regular la temperatura y humedad interna con ventilación natural y, aunque no se tenga presente en la planeación inicial del proyecto, se aconseja por motivos de confort, instalar un sistema de ventilación mecánica en los baños que no tengan ventanas para regular los olores y la humedad provenientes del sanitario y el uso de la ducha.

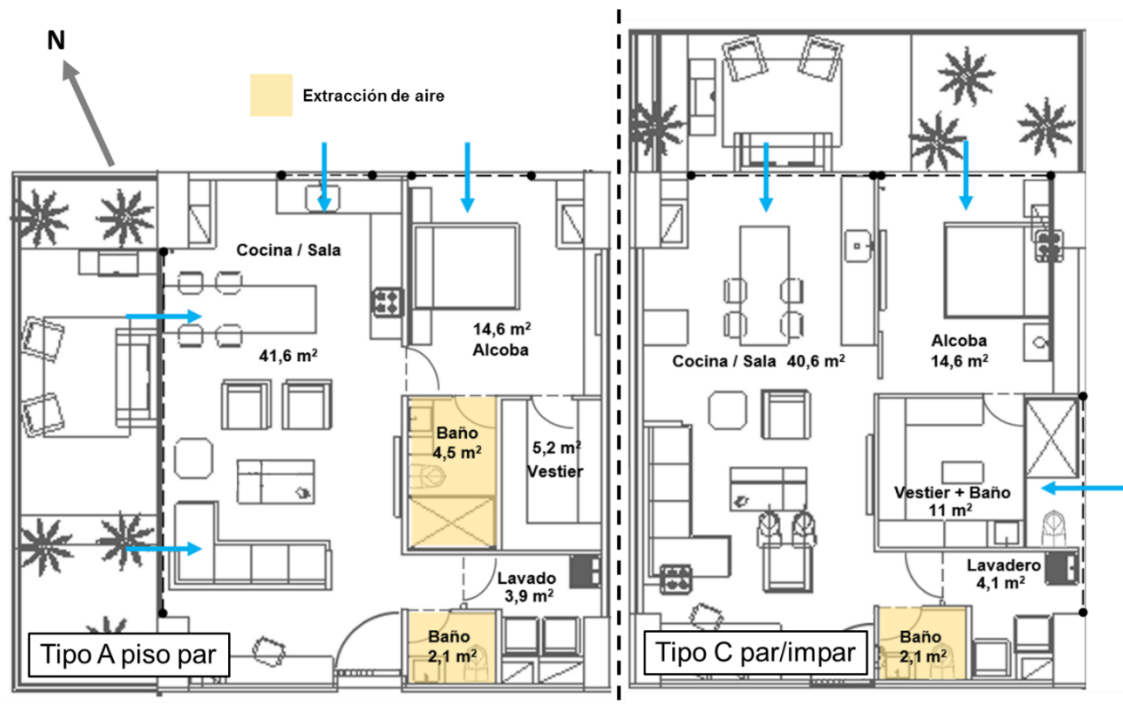


Figura 49. Esquema de ventilación de dos apartamentos modelo

En la Figura 49 se muestra la configuración de habitaciones y ventanas de dos tipos de apartamentos notando que las zonas amarillas son baños y se aconseja el uso de extractores de aire. Igualmente, es aconsejable la instalación de una campana sobre la estufa de la cocina para extraer olores a través de una chimenea. En el esquema de la derecha donde se presenta el apartamento tipo C, se observa que uno de los baño está dispuesto hacia una de las ventanas y por tanto pueden regularse los niveles de humedad y olores por medio de una ventana.

A modo informativo, se llenó el formulario para ventilación natural de la norma DIN EN 1946-6 para los diferentes tipos de apartamentos y a diferentes alturas en los edificios (primer piso, piso del medio, piso superior), dado que la orientación con respecto a la dirección del viento y la altura son factores considerados en este cálculo que pretende definir los requerimientos mínimos de ventilación para tener una buena calidad del aire interior. De esta manera, se midieron las aperturas en las paredes en donde se pretende instalar las diferentes ventanas de los apartamentos para determinar la tasa de renovación del aire, el direccionamiento del apartamento con respecto al movimiento histórico del viento, la altura con respecto al edificio, el tipo de edificio con respecto a las infiltraciones permitidas y la cantidad de habitantes por unidad de vivienda.



Bestimmung der Infiltration ohne Lüftungstechnische Maßnahmen (LTM) $q_{v,Inf,wirk,Quer}$ Lüftung (informativ)				
<u>Luftvolumenstrom durch Infiltration (Querlüftung)</u>	$q_{v,Inf,wirk,Quer}$	33 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,Inf,wirk,Quer}$	0,16 h <sup>-1</sup>
Bestimmung der geforderten Gesamt-Außenluftvolumenströme $q_{v,ges}$				
<u>Vergleich der Nennlast</u>	Σ der geforderten Abluftvolumenströme der Ablufträume		notwendiger Außenluftvolumenstrom für diese Nutzereinheit	
	$q_{v,ges,R,ab,GL}$	70 m <sup>3</sup> /h	$q_{v,ges,NE,NL}$	98 m <sup>3</sup> /h
	Σ der geforderten Außenluftvolumenströme je Person		gewählter Nennlastvolumenstrom	
	$q_{v,ges,NE,GL,P}$	60 m <sup>3</sup> /h	$q_{v,ges,NL}$	98 m <sup>3</sup> /h
Minimalforderung der Volumenströme	<u>Lüftung zum Feuchteschutz LF</u>			
	$q_{v,ges,FL}$	29 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,ges,LF}$	0,14 h <sup>-1</sup>
	<u>Reduzierte Lüftung RL</u>			
	$q_{v,ges,RL}$	69 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,ges,RL}$	0,34 h <sup>-1</sup>
	<u>Nennlüftung NL</u>			
	$q_{v,ges,NL}$	98 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,ges,NL}$	0,49 h <sup>-1</sup>
<u>Intensivlüftung IL</u>				
$q_{v,ges,IL}$	127 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,ges,IL}$	0,63 h <sup>-1</sup>	
Bestimmung der Luftvolumenströme durch LTM $q_{v,LTM}$				
Reduzierte Lüftung RL ALD	$q_{v,LTM,ALD,RL}$	-38 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,LTM,ALD,RL}$	-0,19 h <sup>-1</sup>
RL ÜLD	$q_{v,LTM,ÜLD,RL}$	49 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,LTM,ÜLD,RL}$	0,24 h <sup>-1</sup>
RL Ventilator	$q_{v,LTM,VENT,RL}$	42 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,LTM,VENT,RL}$	0,21 h <sup>-1</sup>
<b>Nennlüftung NL ALD</b>	<b><math>q_{v,LTM,ALD,NL}</math></b>	<b>-9 m<sup>3</sup>/h</b>	<b><math>n_{v,LTM,ALD,NL}</math></b>	<b>-0,04 h<sup>-1</sup></b>
<b>NL ÜLD</b>	<b><math>q_{v,LTM,ÜLD,NL}</math></b>	<b>78 m<sup>3</sup>/h</b>	<b><math>n_{v,LTM,ÜLD,NL}</math></b>	<b>0,39 h<sup>-1</sup></b>
<b>NL Ventilator</b>	<b><math>q_{v,LTM,VENT,NL}</math></b>	<b>71 m<sup>3</sup>/h</b>	<b><math>n_{v,LTM,VENT,NL}</math></b>	<b>0,35 h<sup>-1</sup></b>
Intensivlüftung IL ALD	$q_{v,LTM,ALD,IL}$	20 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,LTM,ALD,IL}$	0,10 h <sup>-1</sup>
IL ÜLD	$q_{v,LTM,ÜLD,IL}$	107 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,LTM,ÜLD,IL}$	0,53 h <sup>-1</sup>
IL Ventilator	$q_{v,LTM,VENT,IL}$	100 m <sup>3</sup> /h	$n_{v,LTM,VENT,IL}$	0,50 h <sup>-1</sup>

Figura 50. Formulario de norma DIN EN 1946-6 para ventilación natural

La imagen muestra la identificación generada a través de la norma para un apartamento tipo A en la parte superior del edificio para demostrar la viabilidad de que un sistema sea ventilado de manera natural. En la parte superior resaltado con un rectángulo rojo se muestra según la norma, la cantidad de aire que entra cada hora por medio de infiltraciones y en la parte inferior resaltado con el mismo color, la cantidad mínima

necesaria de aire a renovar cada hora para mantener un nivel aceptable de humedad en el interior. La norma muestra que generalmente para sistemas en donde la cantidad de aire que entra naturalmente por infiltraciones es mayor a la cantidad necesaria para el cuidado de la humedad, no es necesaria la instalación de sistemas mecánicos de ventilación. Cabe resaltar que a medida que el apartamento en cuestión se encuentra a menor con respecto al suelo del edificio, la tasa de renovación de aire disminuye puesto que se suponen obstrucciones por parte de otras edificaciones adyacentes. De esta manera, algunos apartamentos evaluados en la parte inferior no cumplirían con el requerimiento estipulado por la norma si estuvieran en Alemania pero como en este contexto no prima la preservación del aire caliente interior sobre la apertura de ventanas para reducir los niveles de humedad, la aplicabilidad de la norma no es totalmente acertada para Colombia y por tanto, esta evaluación por medio este medio es meramente informativo.

## **6.6. CONFORT TÉRMICO**

Como se mencionó en el apartado anterior, las condiciones climáticas de la ciudad de Medellín permiten regular las condiciones internas de temperatura y humedad a lo largo de todo el año simplemente por medio de la manipulación de aberturas o ventanas. Dicho procedimiento es impensable en países con estaciones donde prima el cuidado del calor interno de las habitaciones para evitar altos consumos de energía al volver a calentarlos en caso tal de abrir una ventana. CONTREE, al igual que la gran mayoría de edificios residenciales en la ciudad de Medellín, pretende evitar el uso de equipos que impliquen un gasto energético para regular las condiciones de confort de los usuarios en el interior de las instalaciones. Existen diferentes metodologías que sugieren la cuantificación del confort térmico en edificaciones dependiendo de diferentes factores climáticos como la humedad o la temperatura exterior del aire. Por ejemplo la Guía de Construcción Sostenible para el Ahorro de Agua y Energía en Edificaciones presentada en la Resolución 0549 de 2015 señala que el confort térmico se encuentra entre 21 °C y 25 °C con una humedad relativa entre 20% y 75%. El segundo enfoque considerado para la evaluación del confort térmico se tomó de la norma DIN 4108-2 que determina para distintas regiones de Alemania la temperatura máxima dentro de un edificio que puede ser considerada como cómoda y que puede ser hasta 25°C o 27°C según la región de este país. Adicionalmente, según el tipo de edificio (de vivienda o no vivienda), se expresa un límite de horas-grados que puede estar el interior del edificio anualmente

por fuera de la zona de confort. Esta magnitud representa la multiplicación del tiempo que se está por encima del límite dado de temperatura por la diferencia de temperatura con dicho límite y luego se suman los resultados de todo el año. Si se está entre las 13:00 y 14:00 a 28°C en una región donde el límite es 27°C, entonces se tiene  $(28-27)K \cdot 1h = 1Kh$ . La norma sugiere que para viviendas no se exceda de 1.200 Kh al año. Aunque la norma tenga una aplicabilidad solamente dentro del territorio alemán, se toma como referencia para evaluar el desempeño de la temperatura interna del edificio poniendo como límite la temperatura de 27°C que es la indicada para las zonas más calientes de este país. El tercer y último enfoque considerado para el confort térmico se tomó de la norma europea DIN EN 15251 que caracteriza el confort térmico de acuerdo a la temperatura del entorno de manera que cuando esta magnitud es menor a 16 °C el confort se alcanza entre 20 °C y 22 °C, cuando la temperatura exterior está por encima de 32 °C se alcanza entre 24 °C y 28 °C y cuando la temperatura exterior se encuentra entre 16 °C y 28 °C, el confort térmico se calcula como

$$Temperatura\ confort = 18^{\circ}C + 0.25 * Temperatura\ exterior \quad (18)$$

dejando un margen de holgura de  $\pm 2^{\circ}C$ . Bajo esta metodología, se traza el límite de máximo valor de horas-grados anualmente que se puede estar por fuera del confort como el 1% de la cantidad de horas anuales que es usado el recinto con una tolerancia de 2K. Es decir, si una habitación es usada diariamente de 22:00 a 6:00 entonces el límite del confort térmico bajo esta norma es de  $0,01 * 8\ h/d * 365\ d/a * 2\ K = 58\ Kh/a$ . Adicionalmente, los períodos en los cuales la habitación está vacía, no se tienen en cuenta para este cálculo. Dado que la Resolución 0549 no exponen ningún límite de cumplimiento para el rango que sugiere como confort, puesto que son valores de referencia y no de obligatorio cumplimiento, se toma este último modelo indicado por la norma DIN EN 15251 para cuantificar las Kh que no se satisface este enfoque colombiano. Para cuantificar el grado de cumplimiento se asumió un horario de trabajo de los ocupantes de 8:00 a 17:00 más una hora de movilización desde y hasta la vivienda. La ocupación de los fines de semana se asumió hasta las 13:00 y después de las 21:00 y tres semanas al año de vacaciones. De lo anterior se obtienen entonces 9533 Kh que llevan a un límite anual de 95,33 Kh.

El confort térmico de los edificios se simuló por medio de *Design Builder*, el mismo *software* de simulación de desempeño de edificios utilizado para las simulaciones de luz diurna y se toman ambos enfoques para la caracterización de la frecuencia de cumplimiento de condiciones de confort térmico a lo largo del año solamente con el

diseño actual del edificio sin hacer uso de equipos eléctricos que regulen la temperatura. Adicionalmente, dado que Medellín se encuentra en una región tropical en la cual se presenta con mayor regularidad la sensación de calor que de frío, es también razonable cuantificar la frecuencia con la cual se presentan excesos de temperatura que causen malestar dentro del edificio. Como punto de partida para la simulación, se tomó la temperatura ambiente en Medellín registrada cada hora a lo largo de todo el año que ofrece la base de datos de *Meteonorm* en la estación del aeropuerto Olaya Herrera. Luego, con el fin de recrear lo más fiel posible a la realidad, se caracteriza la configuración de los materiales usados en la construcción de las diferentes partes del edificio como muros externos, muros internos, suelos, ventanas, puertas y demás estructuras presentes en el proyecto. La configuración de las diferentes estructuras se muestra detalladamente en el apartado relativo al “análisis de ciclo de vida” para determinar las emisiones de GEI relativas a la producción, uso y disposición final de cada una de las estructuras o equipos que hacen parte de todo el conjunto residencial (algunos ejemplos se muestran en la Figura 51. Adicional a la caracterización de las capas de materiales que componen la estructura física del edificio para manipular la manera en la cual se da el intercambio de calor con el ambiente, existen otros factores a considerar en la simulación del desempeño térmico del edificio. Los electrodomésticos instalados en las viviendas generan calor en menor o mayor magnitud según la cantidad presente y tipo de tareas que realizan, lo cual promueve el aumento de la temperatura interior de la habitación en la que se encuentran. La Sociedad Americana de Ingenieros de calefacción, refrigeración y Aires Acondicionados (ASHRAE) en su estándar 90.1 de 2013 para el manejo de energía en edificios altos expone una potencia de electrodomésticos instalados en el hogar de 6,7 W por cada metro cuadrado y 3,8 W para la iluminación. Estos valores fueron tomados como datos de entrada en la simulación para contribuir al calentamiento interno de los apartamentos. La presencia de personas en el interior del edificio también juega un papel importante en la cuantificación de la ganancia de calor interno y por tanto, con base en que cada apartamento cuenta con una sola alcoba, se puede considerar que máximo dos personas residen en cada vivienda. El Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) presenta un perfil de ocupación estándar de apartamentos por sus residentes a lo largo de la semana para determinar las horas del día en las cuales se incrementa la ganancia interna de calor ya sea por el uso de electrodomésticos o el cuerpo mismo de las personas. Este perfil planteado por dicho estándar no discrimina entre días laborales y fines de semana:

- Hasta 06:45 ocupación del 100%
- Hasta: 07:45 ocupación del 85%
- Hasta: 08:45 ocupación del 39%
- Hasta: 15:45 ocupación del 25%
- Hasta: 16:45 ocupación del 3%
- Hasta: 17:45 ocupación del 52%
- Hasta: 19:45 ocupación del 87%
- Hasta: 24:00 ocupación del 100%

El último factor a considerar es la hermeticidad o magnitud en la cual el edificio entero se opone a la entrada indeseada de aire por medio de fracturas, huecos o poros de los materiales de construcción. El diseño entero del edificio pretende fomentar la ventilación natural por medio de aberturas y ventanas para regular la temperatura y humedad. Dado que no es primordial el cuidado del aire caliente para ahorrar energía por la ausencia de un equipo de calefacción, el valor que mide este factor puede ser mayor o más laxo que el coeficiente usado en países como Alemania. La norma DIN V 18599-2 asigna un valor de  $0,28 \text{ h}^{-1}$  para las edificaciones nuevas que no cuentan con equipos mecánicos de ventilación y que la infiltración de aire no significa un problema para el cuidado del calor interno al señalar que el 28% del volumen del aire interior es renovado cada hora de manera natural.

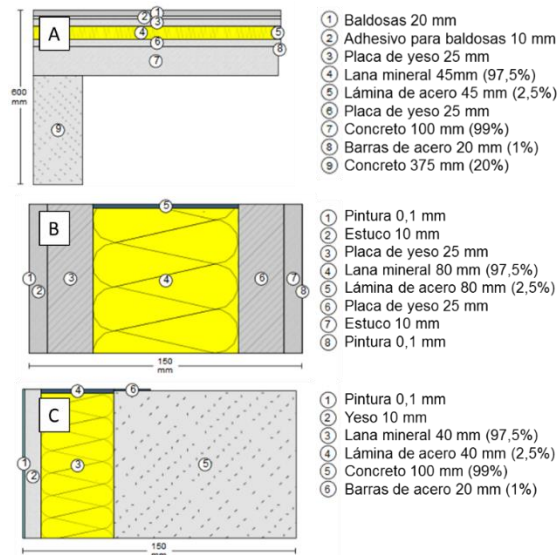


Figura 51. Configuración de estructuras comunes de CONTREE: A. Piso de apartamentos B. Pared interna C. Pared externa

Fuente. Elaboración propia por medio de herramienta online eLCA v 0.9.5

De igual manera que para las simulaciones de iluminación natural sobre las diferentes habitaciones dentro de los apartamentos, se recreó el edificio basado en las dimensiones dadas en modelos de Concreto en los programas *AutoCAD* y *Revit* en cuestiones de áreas, distribución de zonas y materiales. El edificio simulado en *Design Builder* junto con un nivel típico de vivienda se muestran en la Figura 52:

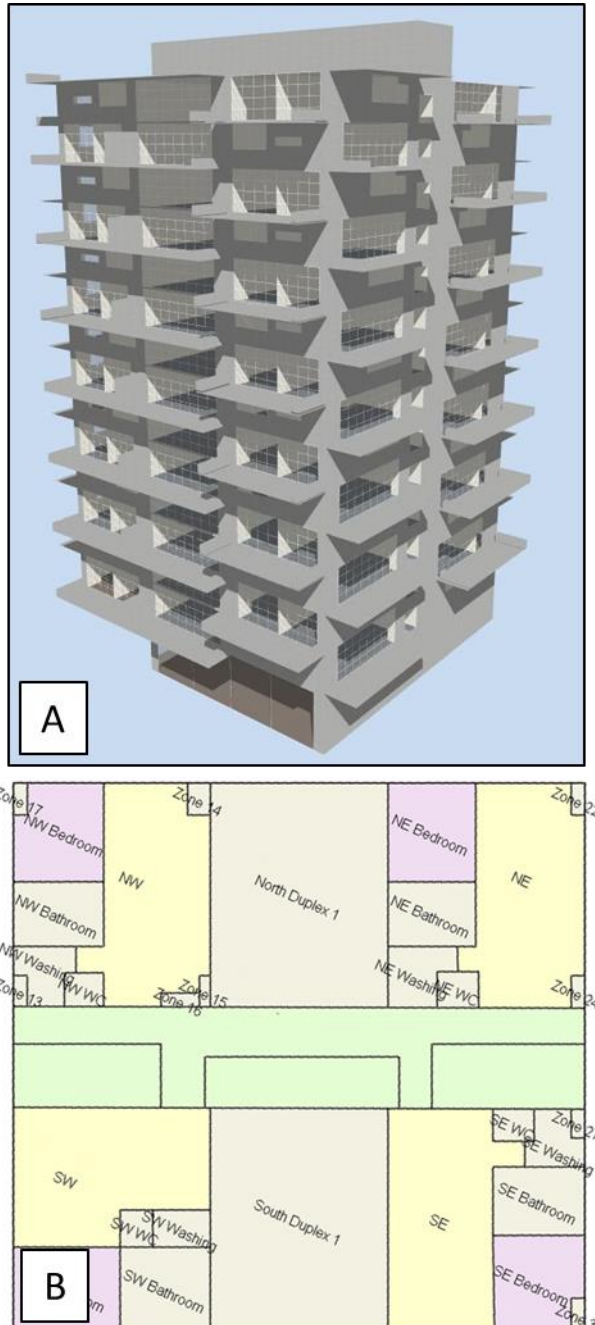


Figura 52. Simulación del desempeño del edificio. A. Render de la simulación B. Plan de un nivel de viviendas.

Bajo este enfoque, se realizaron simulaciones de apartamentos en la parte inferior del edificio, en el medio y en la parte superior determinando para cada una de ellas la temperatura interior y exterior cada hora desde el 1 de enero a las 00:00 hasta el 31 de diciembre a las 23:00. A partir de los resultados obtenidos se cuantificaron las horas-grados en las cuales la temperatura media interna de los apartamentos se encontraba por fuera de la zona de confort expuesta en la norma DIN EN 15251 (enfoque A), por fuera del rango expuesto por la Resolución 0549 de 2015 (enfoque B) y la sobretemperatura expuesta en la norma DIN 4108-2 como 27°C (enfoque C). Cada punto verde de la Figura 53 simboliza una hora del año donde se muestra la temperatura interna que sentiría un usuario con respecto a la temperatura ambiente teniendo la zona azul como el confort bajo cada enfoque.

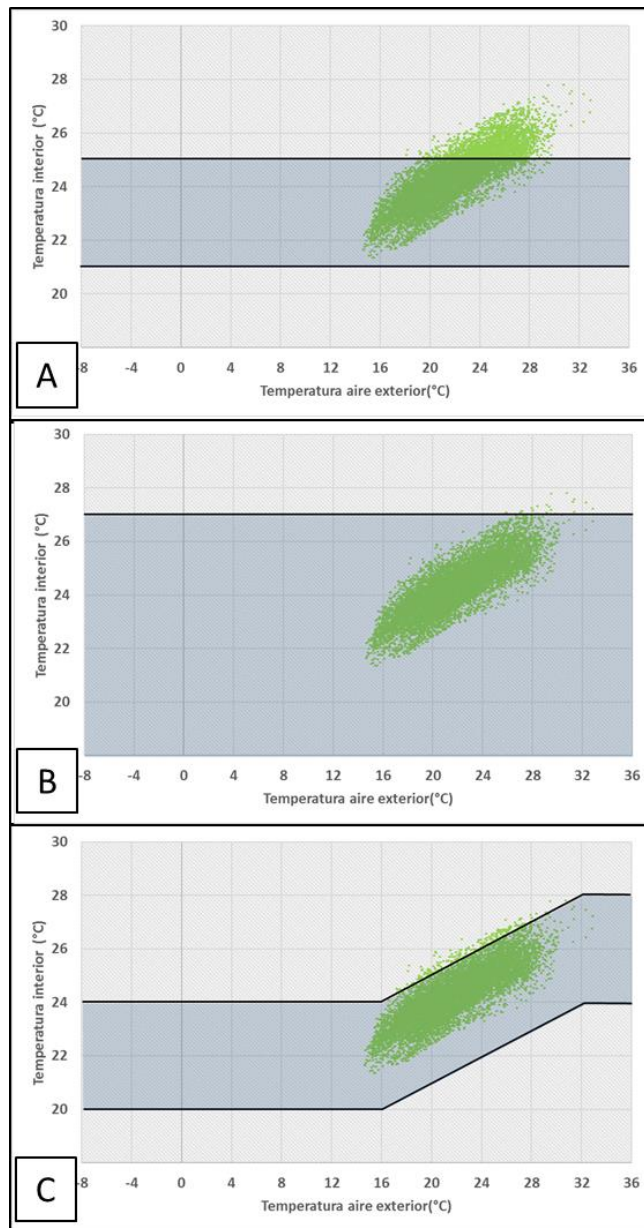


Figura 53. Evaluación de confort térmico en apartamento del medio del edificio. A. Bajo enfoque de Res. 0549/2017 B. Bajo enfoque de DIN 4108-2 C. Bajo enfoque de DIN EN 15251

La figura muestra el comportamiento típico para todos los apartamentos en donde dada la configuración de materiales a utilizar en la construcción y dimensiones de las partes como paredes y ventanas, se tiene un muy buen desempeño frente a bajas temperaturas como resguardo del frío pero un desempeño más bajo cuando la temperatura del aire circundante aumenta. El comportamiento general de las simulaciones muestra que



- Cuando la temperatura ambiente se acerca a los 16°C, la temperatura interna está 6°C a 8°C por encima
- Cuando la temperatura ambiente se acerca a los 20°C, la temperatura interna está 3°C a 5°C por encima
- Cuando la temperatura ambiente se acerca a los 24°C, la temperatura interna está igual a 2°C por encima
- Cuando la temperatura ambiente se acerca a los 28°C, la temperatura interna está 3°C a 1°C por debajo

Dado que desde el diseño mismo del edificio se difiere entre pisos impares y pares para la distribución de ventas y habitaciones internas, se realizó la simulación en ambos tipos de piso de vivienda. Los resultados de las simulaciones se observan en la siguiente tabla con respecto a los tres enfoques en donde se cuantifica la cantidad de Kelvin-horas que no significan un confort para el usuario.

Tabla 24. Resultados de simulación térmica para diferentes apartamentos

Zona del edificio	Nivel	Enfoque A		Enfoque B		Enfoque C	
		(Kh/a)	(% no confort)	(Kh/a)	(% no confort)	(Kh/a)	(% no confort)
Inferior	Par	1.012	11%	58	0%	222	2%
Inferior	Impar	736	8%	29	0%	159	2%
Medio	Par	1.004	11%	44	0%	292	3%
Medio	Impar	1.096	11%	48	0%	394	4%
Superior	Par	1.055	11%	50	0%	339	4%
Superior	Impar	3.112	33%	262	3%	2.039	21%

La tabla anterior muestra que bajo el enfoque A (valor sugerido en Colombia) se supera el límite de referencia del 1% de los dos grados de exceso de temperatura o baja temperatura (en este caso no aplica) y se tienen valores cercanos al 10%, excepto para la última planta del edificio que, por tener contacto directo con el sol en su loza superior, tiende a presentar mayores temperaturas. El enfoque B, que muestra la intensidad con la cual se tienen temperaturas por encima de 27°C con un límite fijado en 1.200 Kh, fue altamente satisfecho, incluso por el último piso que tiende a ser más caluroso que el resto. Por último, el enfoque C, que al igual que el A tiene un límite de 95 Kh/a o 1% del tiempo utilizado con una sobretemperatura de 2°C, aunque no fue alcanzado, se tuvieron bajos valores al rondar por el 3% a excepción del nivel superior. Cabe resaltar que estas normas se toman solamente como referencia para acercarse a una

caracterización de condiciones de confort térmico dado que su aplicabilidad literal en Colombia no es oportuna por las diferencias notables en los materiales de construcción que se emplean en cada región. Para localidades donde las bajas temperaturas son comunes a lo largo del año, se pretende tener estructuras que provean un aislamiento tal, que mantenga una temperatura interna cómoda para el usuario y promuevan así mismo un consumo energético reducido de los equipos de calentamiento de interiores. Esta alta inercia térmica con la cual se diseñan estos edificios, es el motivo por el cual se pretende que la temperatura del interior varíe en la menor magnitud posible frente a estímulos externos. En Medellín por el contrario, la temperatura interna es más susceptible a cambios y tiende a parecerse más a la temperatura del aire externo al edificio. Medellín se encuentra en la frontera entre presentar un clima medio anual cálido y clima medio anual agradable, asignado por medio del “Índice de confort (IC)”, cuya magnitud es dependiente de la temperatura y la humedad relativa. En la Figura 54 señalado con color rojo para la ciudad de Medellín y en color azul el rango considerado como sensación térmica agradable se ubica a Medellín en el contexto colombiano de niveles climáticos. Se evidencia adicionalmente a través de la simulación que frente al cambio en la temperatura ambiente, el interior del edificio se mantiene levemente cálido con una temperatura media anual de 24,4°C. Teniendo en cuenta que incluso, la norma alemana DIN 4108-2 define para la zona de mayor temperatura media anual un límite de 1.200 Kh/a para una temperatura interna de 27°C, los apartamentos simulados en este trabajo, aunque estén en Medellín, ciudad de mayor temperatura media que esta zona de la norma, no sobrepasan este límite al converger hacia las 580 Kh/a por nivel. Así mismo, en lo expuesto por la Guía en la Resolución 0549 en cuestiones de confort térmico no se presentan requerimientos de cumplimiento en cuestiones de horas al año, horas-kelvin o alguna otra medida de cumplimiento de condiciones de confort. Este rango de 21°C a 25°C cuando la humedad relativa se encuentra entre el 20% y el 75% es meramente informativo y no de carácter obligatorio.

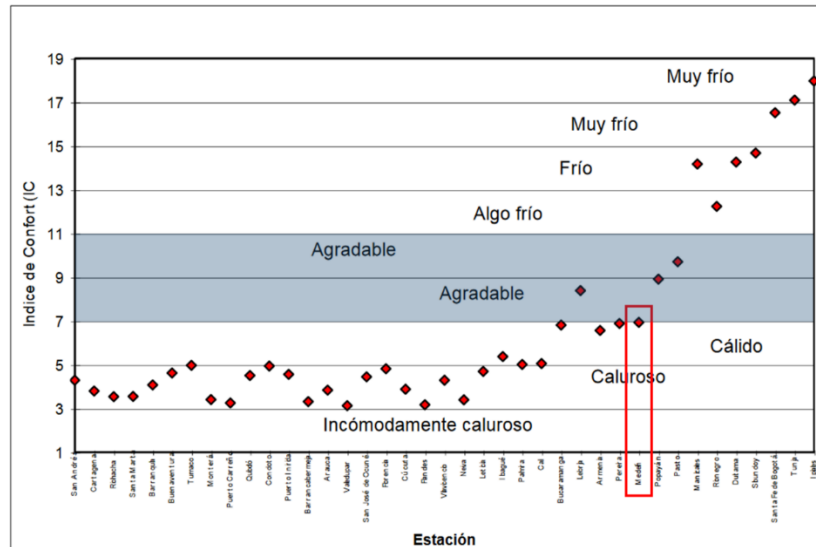


Figura 54. Sensación térmica media anual en ciudades Colombianas

Fuente. (González, 1998).

## 6.7. CALIDAD ARQUITECTÓNICA

La integración de tecnologías de generación energética *in situ* y de reducción de la demanda energética pueden presentar conflictos con conceptos arquitectónicos del edificio mismo en cuestiones de uso de espacios, ubicación de estructuras, peso sobre lozas y superficies o estética. Para evitar estos conflictos se promueve a través del estándar que desde la planeación misma de un edificio a ser construido, la ingeniería y arquitectura tengan una comunicación constante y enfocada en la meta común de promover edificios de bajo impacto ambiental durante todo su ciclo de vida. Dado que este factor a evaluar por el estándar de energía es meramente cualitativo, su cumplimiento no es de carácter obligatorio. Cuando se desea evaluar un edificio en cualquiera de sus etapas mediante la metodología *Aktivplus*, se le ofrece al usuario la posibilidad de presentar el proyecto frente a un grupo de expertos en arquitectura para integrar, en pro del desarrollo óptimo del edificio, las diferentes tecnologías disponibles en el mercado con la estructura que se desea construir y así, optar por un bono en este aspecto del estándar. Anualmente, el consejo de arquitectura de la sociedad *Aktivplus* realiza una evaluación de los proyectos del estándar de la integración de sistemas técnicos como plantas fotovoltaicas o bombas de calor con la estética del edificio, organización de las habitaciones interiores, sombras o zonas de sol dentro del proyecto,

origen y tipo de materiales utilizados y el uso del espacio interior y exterior, entre otros factores.

## **6.8. RETROALIMENTACIÓN DEL CONFORT DEL USUARIO**

La introducción de un tipo de vivienda en el cual se pretendan abarcar tecnologías de generación energética por medio de fuentes renovables y metodologías de uso eficiente de este recurso, supone un cambio total en el paradigma de vivienda en Colombia. Por medio de estos proyectos se tiene como meta pasar de construir nuevas viviendas para suplir el crecimiento de la demanda por el aumento de la población que inherentemente tienen un impacto en el medio ambiente, a presentar soluciones de vivienda que por medio de la integración de diferentes metodologías no solo tengan un impacto negativo mínimo en el medio ambiente, sino que también tengan un papel de plantas activas de generación energética.

El desempeño óptimo de estas edificaciones depende de las diferentes etapas del ciclo de vida como construcción, operación y desensamble teniendo en cuenta que en esta segunda etapa, el usuario tiene una mayor influencia que los planeadores del edificio. Los habitantes de un edificio de vivienda son los encargados el uso de la energía tanto generada localmente como importada desde la red para labores por medio de electrodomésticos o iluminación, son los encargados de darle forma a patrones de consumo u horarios de operación y de utilizar o no, las instalaciones que ofrece un edificio para recargar energéticamente su vehículo. Por esta influencia que tienen los usuarios, esta metodología de construcción de edificios señala un contacto constante y efectivo de los planeadores del proyecto con dichas personas con el fin de monitorear oportunamente el desempeño del proyecto para la toma de decisiones en las que prevalezcan el confort, el uso racional de energía y sobre todo, el menor impacto en el medio ambiente.

Este seguimiento promueve un uso consciente de la energía en los apartamentos y puede ser constantemente conocido por los usuarios cuando se implementa una interfaz gráfica que de manera interactiva permite al usuario monitorear su consumo periódico de energía en las diferentes labores domésticas y compararlo con niveles ideales mensuales y anuales. Adicionalmente, puede llegar a elaborarse un sistema más complejo que sea manipulable por el usuario en el que se involucren conceptos de *Smart Houses* en los cuales se habiliten funciones como:

- Uso inteligente de la energía que puede programar labores de lavado de ropa en horas de alta generación eléctrica por parte de los paneles, apagar consumidores de energía e identificar potenciales de ahorro
- Controlar la iluminación artificial del apartamento no solo con encender y apagar luces, sino promoviendo puntos óptimos intermedios.
- Sistema de alarma de robo e incendio
- Acceso directo a la plataforma de *Carsharing* para la comunidad CONTREE
- Acceso a pronósticos de generación y uso de energía generada en el edificio

El acceso a este monitoreo puede hacerse tanto de manera descentralizada con instalación de pantallas táctiles en cada una de las unidades de vivienda como se hizo en el proyecto *Energy Plus* llamado *Aktiv-Stadthaus* en la ciudad de Frankfurt, Alemania o de manera central con acceso a un sitio web por medio de un usuario y una contraseña.

Paralelo a este seguimiento que promueve el contacto con los usuarios y el acercamiento a nuevos modelos de vivienda, este estándar de energía incentiva que durante los primeros dos años de entrar en operación, se diligencia anualmente un cuestionario para caracterizar dicha etapa y de manera trimestral, un cuestionario más corto para notar factores relevantes de la operación con mayor eficacia. Pasados estos dos años, el cuestionario corto se sugiere llenar con una menor frecuencia y puede ser llenado incluso semestralmente. A través de diferentes contadores instalados en el proyecto, se cuantifican constantemente variables necesarias para dar seguimiento al consumo energético, temperatura del ambiente y calidad del aire.

A continuación se muestra un cuestionario base tomado de proyectos existentes bajo la metodología *Aktivplus* con la adición de algunas preguntas formuladas a partir de este trabajo señaladas con un asterisco. El estándar no tiene un cuestionario fijo y sugiere que sea elaborado por profesionales en el ámbito social para tener un impacto concreto a partir de las preguntas formuladas.

**\*¿En qué piso vive usted?**

Piso par                  Piso impar  
                                 

**\*¿Hacia qué lado está dirigido su apartamento?**

Nordeste                  Noroeste                  Sudeste                          Suroeste                          Medio  
                                                                                                                                        (duplex)

**¿Qué tan satisfecho/a o insatisfecho/a está usted con el apartamento en general?**

Muy satisfecho	Satisfecho	Un poco satisfecho	Neutral	Un poco insatisfecho	Insatisfecho	Muy insatisfecho
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Piense por favor en las condiciones de su hogar en los últimos siete días.**

**¿Cómo sintió usted la temperatura de:**

**las zonas de tránsito como sala o comedor?**

Muy Frío	Frío	Fresco	Neutral	Cálido	Un poco caliente	Caliente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**La alcoba?**

Muy Frío	Frío	Fresco	Neutral	Cálido	Un poco caliente	Caliente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**¿Cuántas veces ha considerado usted en los últimos siete días la temperatura de las habitaciones**

**Muy calientes?**

Siempre	Muy frecuente- mente	Frecuente- mente	A veces	Pocas veces	Muy pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Muy frías?**

Siempre	Muy frecuente- mente	Frecuente- mente	A veces	Pocas veces	Muy pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Piense por favor en las condiciones de su hogar en los últimos siete días. ¿Cómo considera usted el aire interno en:**

**las zonas de tránsito como sala o comedor?**

Muy seco	Seco	Un poco seco	Neutral	Un poco húmedo	Húmedo	Muy húmedo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**La alcoba?**

Muy seco	Seco	Un poco seco	Neutral	Un poco húmedo	Húmedo	Muy húmedo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**¿Cómo considera usted la calidad del aire interior en**

**las zonas de tránsito como sala o comedor?**

Muy sofocante	Sofocante	Un poco sofocante	Poco sofocante	Para nada sofocante
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**La alcoba?**

Muy sofocante	Sofocante	Un poco sofocante	Poco sofocante	Para nada sofocante
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*¿Hace usted uso de la estación de recarga para bicicletas, motos y carros eléctrica?**

Sí	No
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*En caso tal de hacer uso de la estación, ¿para qué tipo de vehículo la utiliza? (Más de una respuesta es posible)**

Carro	Moto	Bicicleta
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*¿Con qué frecuencia?**

Diariamente	Tres veces por semana	Dos veces por semana	Una vez por semana	Dos veces al mes	Una vez al mes
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*A parte de la estación en CONTREE, ¿en dónde recarga su vehículo? (Más de una respuesta es posible)**

En el trabajo	En estaciones públicas	En el centro comercial
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Por favor marque en qué magnitud corresponden las siguientes afirmaciones a su situación actual de vivienda.**

**Puedo regular la temperatura de mi apartamento según mis necesidades**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Es difícil mantener mi apartamento fresco en días calurosos**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Algunas zonas de mi vivienda se calientan rápidamente en días calurosos**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**En los días calurosos la temperatura de mi apartamento varía drásticamente**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**El exceso de temperatura se puede regular simplemente abriendo las ventanas**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Puedo cuidarme del sol en mi vivienda fácilmente**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**En situaciones de altas temperaturas incómodas al abrir las ventanas se siente una brisa cómoda**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**En mi apartamento es posible la entrada de aire fresco sin problema**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Es difícil tener una buena calidad de aire en mi apartamento**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**El aire en mi apartamento se vuelve rápidamente sofocante**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**En mi apartamento es fácil generar vientos cruzados**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*Durante el día es posible realizar tareas de aseo solo con luz natural**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*Durante el día es posible realizar tareas como lectura, escritura, uso del computador solo con luz natural**

Siempre	Regularmente	A veces	Pocas veces	Nunca
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*Le doy importancia a la generación de energía con fuentes renovables en el edificio**

Mucha	Sí	Un poco	No mucha	No
-------	----	---------	----------	----

**\*Intento realizar tareas que demandan energía eléctrica durante el día para que se lleven a cabo directamente con la energía generada en el edificio**

Siempre                      Regularmente                      A veces                      Pocas veces                      Nunca  
                                                                                       

**\*Soy consciente del consumo de energía de mi apartamento cada mes e intento reducirlo constantemente o evitar tareas que demanden innecesariamente energía**

Siempre                      Regularmente                      A veces                      Pocas veces                      Nunca  
                                                                                       

**\*La frecuencia con la cual hago uso de la zona del Coworking es**

Nunca	Muy pocas veces	Una vez al mes	Quincenal	Una vez a la semana	Dos veces por semana	Diariamente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*La frecuencia con la cual hago uso de la zona del spa es**

Nunca	Muy pocas veces	Una vez al mes	Quincenal	Una vez a la semana	Dos veces por semana	Diariamente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*La frecuencia con la cual hago uso de la zona del gimnasio es**

Nunca	Muy pocas veces	Una vez al mes	Una vez a la semana	Dos veces por semana	Tres veces por semana	Diariamente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*La frecuencia con la cual hago uso de la zona del turco es**

Nunca	Muy pocas veces	Una vez al mes	Una vez a la semana	Dos veces por semana	Tres veces por semana	Diariamente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## **6.9. MOVILIDAD ELÉCTRICA**

La solución puntual que se presenta en este trabajo como aporte al cumplimiento de los objetivos propuestos por la Transición Energética global se centra en el campo de la generación y uso de la energía en edificios de vivienda. Proponiendo una interacción consciente entre los usuarios o habitantes del edificio con este servicio se pretende no solo la reducción de emisiones asociadas a la forma tradicional de generar y transportar la energía en Colombia sino también reducir directamente las emisiones que estén asociadas al uso mismo de los edificios. Esto incluye también reducción en emisiones por su construcción y desensamble, por uso de combustibles fósiles para realizar labores de cocción y calentamiento y reducción de emisiones en el transporte de los habitantes. Es por esto que se busca fomentar desde el concepto inicial del edificio que sea posible para las nuevas tecnologías de transporte individual o de pequeños grupos,



cargar eléctricamente vehículos dentro del edificio mismo, promoviendo así comodidad al usuario y desplazamientos hacia otros lugares de la ciudad que no impliquen altos niveles de emisiones nocivas para la salud de la comunidad y el medio ambiente. La participación en el *stock* automovilístico en Colombia de carros eléctricos es cada vez mayor y supone una reducción en el tercer factor de mayor influencia en las emisiones de GEI en Colombia que actualmente es ocupado por el transporte. Este factor significa un 10% del total de emisiones y es solamente sobrepasado por la deforestación con 39% y el sector agropecuario con 19% (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Solamente en Medellín a septiembre de 2018 se registraban alrededor de 350 carros eléctricos entre eléctricos de batería (BEV), híbridos enchufables (PHEV) e híbrido (HEV) (Zambrano, 2018) teniendo en cuenta para el crecimiento de esta alternativa de movilidad que solamente en diciembre del mismo año, más de 220 carros eléctricos fueron vendidos en todo Colombia (Andemos, 2018) aumentando en un 13% la cantidad total en el país. Adicionalmente, el barrio El Poblado de Medellín, donde se tiene presupuestada la construcción de CONTREE cuenta con la tasa de automóviles más alta de la ciudad siendo un sector que tiene más carros que gente. El factor de 1,25 carros por cada persona que habita en este barrio (Álvarez, 2015) muestra el gran nicho de mercado que presentan estas tecnologías que se están introduciendo gradualmente en los métodos de transporte de los colombianos. Por este motivo, por el crecimiento de la movilización en la ciudad con vehículos eléctricos, es que se plantea la instalación de estaciones de carga dentro de CONTREE.

Para el dimensionamiento del perfil de demanda energética que tendría la estación de carga es necesario caracterizar los consumidores de este servicio y por tanto, según los modelos más vendidos en los últimos años en Colombia se identifica el rendimiento o autonomía de las diferentes baterías de los carros para determinar la energía necesaria en cada recarga y la regularidad con la cual estarían siendo cargados los carros que se conecten a la estación dispuesta en los edificios.

*Tabla 25. Autonomía de modelos de autos eléctricos más vendidos en Colombia*

Marca	Referencia	Vendidos entre 2016 y 2018	Batería (kWh)	Autonomía (km)	Rendimiento kWh/100 km	Rendimiento Real kWh/ 100 km
Renault	Twizy	285	8	100	8	11,7
Renault	Zoe	96	41	300	14	20,3
BMW	i3	164	22	200	11	20,6
BMW	330E	102	7,6	35	22	19
Mitsubishi	IMIEV	11	16	160	10	26,3
Nissan	Leaf	31	40	389	10	18,3
Kia	Soul EV	13	27	150	18	19,1

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Andemos, 2018) para los carros vendidos y la autonomía teórica en kWh/100 km y (Sedlak, 2018) para la autonomía real.

Según la proporción de autos eléctricos y su autonomía de carga de batería, se tiene un promedio de 16,3 kWh/100 km recorridos. A través de la encuesta de Origen-Destino, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá determina que para el segmento de habitantes que viven en el barrio El Poblado, en estrato 6 y que utilizan el automóvil particular como medio de transporte más común, la distancia promedio de cada viaje es de 5,3 km (2017). Según este recorrido promedio, la necesidad de recarga promedio ponderada se encuentra cercana a 1 vez por semana.

*Tabla 26. Carga por semana de modelos más populares de carros eléctricos en Colombia*

<b>Modelo</b>	<b>Proporción aproximada</b>	<b>Batería (kWh)</b>	<b>Carga por semana</b>	<b>Carga promedio</b>
Twizy	41%	8	1,1	0,98
Zoe	14%	41	0,4	
i3	23%	22	0,7	
330E	15%	7,6	1,9	
Leaf	4%	40	0,5	
I MieV	2%	16	0,9	
Soul EV SX	2%	27	0,5	

Aunque el promedio indique que sería necesario cargar menos de una vez a la semana el carro según el indicador de distancia recorrida, excepto para el BWM 330E por ser híbrido, dado el azar de las distancias a recorrer y condiciones del tráfico en la ciudad, los usuarios tenderían a cargar con mayor regularidad su automóvil para asegurar un mayor cubrimiento del recorrido.

Dado que los diferentes modelos de autos eléctricos utilizan conectores particulares para la carga de su batería, se propone la instalación de 3 a 4 puestos de recarga de los tipos:

- Schuko (Renault Twizy)
- SAE J1772 (Nissan, Mitsubishi, BMW, Kia)
- Mennekes (Renault y BYD)

EGS-Plan ha desarrollado un modelo para aproximar un perfil de carga semanal y anual según la cantidad de estaciones a instalar, la potencia de las mismas, la cantidad de automóviles eléctricos y la proporción de usuarios con automóvil eléctrico que cargarían

dentro del edificio. La falta de indicadores, estadísticas o encuestas para Colombia relativas al segmento de la población que utiliza carros eléctricos y específicamente, la distribución dentro de este grupo de personas que carga el automóvil en su propia vivienda o en las estaciones de carga pública puede radicar en el hecho de ser una opción de movilidad cuyo uso es aun poco común. Es por esto que para generar este perfil de carga se utilizan valores basados en una encuesta realizada en Alemania y por tanto este resultado del perfil de demanda energética es meramente ilustrativo pero se muestra el procedimiento para cuando en un futuro se tengan datos concretos para Colombia. Dicha encuesta muestra que el 96% de los usuarios de carros eléctrico realizan las cargas en su propia vivienda y el 60% de los entrevistados cargan el carro todos los días, el 33% 2 veces a la semana y el 7% de 1-3 veces por mes (Frenzel, Jarass, Tromer, & Lenz, 2015).

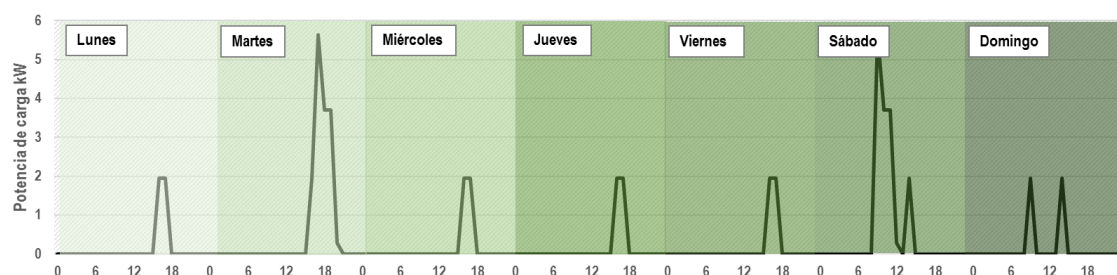


Figura 55. Perfil de demanda de energía para recarga de autos eléctricos en CONTREE

**Fuente.** Elaboración propia a través de programa de computador diseñado por (EGS-Plan, 2019)

La baja cantidad actual de este tipo de vehículos puede promover la instalación de estaciones de carga lenta (3,7 kW como se muestra en la Tabla 27) dado que al trabajar con menores niveles de corriente suponen una carga más eficiente al haber menos dispersión de la energía y no se cuenta con una alta demanda de las estaciones.

Con miras hacia el futuro, se puede considerar una estación conectada a un nivel mayor de tensión para una carga más rápida de los vehículos y así tener un flujo mayor de autos cargados al día.

Tabla 27. Clasificación de estaciones de carga

Tipo de carga	Carga lenta	Carga semirápida	Carga Rápida AC	Carga Rápida DC
Potencia	3,3 - 3,6 kW; I= 16A 6,6 – 7,6 kW; I=32A	22 kW a 32 A	43 kW	50 kW
Voltaje	208-240V Monofásico trifilar o bifásico	400 V trifásico AC	400 V trifásico AC	Alimentación 400 V trifásico AC Salida 500 VDC
Tiempo de recarga	16A: 6-8 horas 32A: 4-6 Horas	2 Horas	1 Hora	30 minutos

Fuente. (EPM, 2018b)

## 6.10. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Al calentamiento de agua sanitaria en CONTREE por medio de bombas de calor como reemplazo de los calentadores tradicionales operados con gas natural, se le asignan emisiones de GEI relativas a la generación y transporte de energía eléctrica que necesita la este equipo para su operación. La Resolución 804 de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) determina que para cualquier proyecto que represente la disminución de estas emisiones por la integración en proyectos de tecnologías que promuevan el bienestar ambiental, por cada kilovatio-hora utilizado, son liberados a la atmósfera 367 gramos de dióxido de carbono (UPME, 2017c). De manera paralela, a la combustión de cada metro cúbico de gas natural para obtener energía, se le asigna un valor cercano a 1980 gramos de CO<sub>2</sub> o 198 gramos/kWh resaltando que puede variar según la composición particular del gas que es quemado y depende del pozo del cual haya sido obtenido. Así mismo, teniendo en cuenta que cada habitante de Contree demanda cerca de 393 kWh/a para el calentamiento de agua por medio de calentadores de gas natural, y se consideran en total 160 apartamentos y por cada apartamento 1,8 personas, se estarían liberando anualmente 23 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Este mismo procedimiento llevado a cabo por medio de una bomba de calor eléctrica, con un COP promedio de 4 como se muestra en la Figura 37 para una temperatura ambiente de 21 °C para la ciudad de Medellín y una temperatura de calentamiento entre 45°C y 55°C tiene un consumo energético de 201 kWh/(a·persona), magnitud menor a la de un sistema con gas natural. Aunque las emisiones por cada kWh proveniente de

la combustión de gas natural sean menores a las que se le atribuyen a cada kWh eléctrico según la matriz de generación colombiana, el hecho de tener un menor consumo energético por el uso de la bomba de calor, respalda un decrecimiento también en las emisiones. De manera que para las 288 personas que estarían demandando este servicio se estarían emitiendo anualmente 21,3 toneladas de CO<sub>2</sub>, reduciendo en 1,7 toneladas dichos gases cada año. Esta reducción de GEI se ve fomentada aún más cuando la bomba de calor es alimentada por energía eléctrica generada a partir de paneles fotovoltaicos en el lugar, dado que las emisiones inherentes a la generación eléctrica que se le atribuyen principalmente a las termoeléctricas, son evitadas. Aunque directamente la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos no simbolice emisiones de GEI, este proceso es también responsable de la liberación de dichos gases por la producción de los paneles. Es por esto que a cada kWh eléctrico que resulta de estos sistemas se le asignan entre 70 y 90 gramos de CO<sub>2</sub> (Wegatech, 2017). Las bombas de calor pueden ser programadas electrónicamente para que su funcionamiento se inicie en las horas del día donde se tiene la mayor radiación solar con el fin de aprovechar al máximo esta generación limpia. Adicional a este beneficio el COP de la bomba aumenta conforme aumenta la temperatura de la fuente de calor, en este caso el aire circundante al edificio y por tanto se reduce la demanda eléctrica del equipo. Para diferentes participaciones de la energía aportada por el sistema fotovoltaico para la operación de la bomba se tiene la siguiente tabla:

*Tabla 28. Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por calentamiento de agua con bomba de calor*

<b>Emisiones</b>	Con gas natural	B.C. con 0% PV	B.C. con 25% PV	B.C. con 50% PV	B.C. con 75% PV	B.C. con 100% PV
<b>Ton CO<sub>2</sub> /año</b>	23,0	21,3	17,0	12,7	8,4	4,1
<b>Reducción de emisiones (%)</b>	0	8	26	45	64	82

En edificios que generan más energía de la que necesitan, se recomienda una consideración global de las emisiones de GEI asociadas al proyecto para abarcar holísticamente la tarea de reducir la magnitud de estas emisiones notoriamente para el año 2050. Es por esto que no solo se plantea cuantificar y reducir los niveles de CO<sub>2</sub> que se puedan generar en la etapa de operación o vida útil del edificio sino también en su construcción y desensamble. El acogimiento de estándares de energía desde la

planeación de una edificación en los cuales dicho análisis se pretenda llevar a cabo, se incentivan factores favorables para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera a partir de diversos procesos. En primera instancia, al estarse generando localmente energía, se promueve el uso y exportación a la red de una energía generada que evitó la operación de centrales termoeléctricas. Adicionalmente, la operación eficiente del edificio, dada por metodologías encaminadas a la reducción del uso de diferentes energéticos promueven en última instancia una reducción en la generación de dichas emisiones. El uso de energía del ambiente por medio de bombas de calor evita el uso directo de combustibles fósiles para realizar tareas de calentamiento de agua. Desde la construcción del edificio es posible el empleamiento de materiales de construcción utilizados en otra obra con el fin de reducir la demanda de producción de materiales y así las emisiones ligadas a estos procesos productivos. En última instancia, el uso de materiales sostenibles reduce la demanda de materiales no renovables en la construcción y a su vez, el uso de maderas y materia vegetal incentiva el uso de materiales naturales que durante su formación capturaron dióxido de carbono.

Adicional a este tipo de emisiones que surgen durante todo el proyecto, existen potenciales que también son tenidos en cuenta en este tipo de análisis ambiental como el de agotamiento del ozono (ODP), acidificación del suelo y el agua (AP), eutrofización, smog fotoquímico y agotamiento abiótico. Particularmente, este estándar incentiva a que cada persona que viva dentro del edificio no simbolice una magnitud de emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> de 660 kg anuales tomando en cuenta las emisiones que deja la producción de los materiales del edificio, la construcción como tal del inmueble, la vida útil del edificio donde se encuentra el uso de los diferentes energéticos por parte de los usuarios y el desensamble del mismo. Este umbral proviene de las metas globales de no sobrepasar la temperatura media de la tierra en 2 °C a 2050. Se cuantifican las emisiones máximas permitidas hasta dicho año para que la temperatura tan solo incremente en esta magnitud y se distribuye equitativamente entre los supuestos habitantes de la tierra que habría en este año. De estas emisiones permisibles cuantificadas con un valor cercano a las dos toneladas por persona al año se estima que cerca de un tercio proviene del sector residencial equivalente a 660 kg.

Se realizó entonces un análisis de ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) en CONTREE basado en el escenario “Ef+CI+BC” que alcanza un concepto de *Energy Plus Building* a través de la instalación de electrodomésticos eficientes, cocción con estufa

de inducción y calentamiento de agua por medio de una bomba de calor. Esto con el fin de determinar la cantidad total de emisiones de GEI que generará la totalidad del proyecto desde su construcción hasta su desensamble y determinar con anterioridad materiales, procesos o actividades críticas que puedan intervenir antes de ser llevadas a cabo con el fin de mitigar esta inherente contaminación ambiental.

Como punto de partida para las dimensiones de los componentes de todo el conjunto residencial y los materiales que los constituyen, se tomó tanto un modelo en tres dimensiones realizado por Concreto en el programa *Revit* como un archivo de *AutoCAD* ambos a escala en donde se tienen estipuladas las dimensiones físicas que tendrá el proyecto y los materiales de construcción. Es importante resaltar que, al encontrarse el proyecto sujeto a cambios menores como la proporción de apartamentos de una y dos plantas y algunos materiales particulares de construcción, en ciertos aspectos no es posible definir materiales o dimensiones específicas para este análisis. En estos casos, para el LCA se asumen materiales estándares de construcción y se indica los materiales y/o dimensiones que sean asumidos. Las partes del conjunto residencial fueron separadas en suelos (interiores y exteriores), paredes externas y columnas, paredes internas de separación y/o soporte, aberturas como ventanas y puertas (interiores y exteriores), escaleras y techos como son separados en la norma alemana DIN 276. A parte de estas estructuras del proyecto, el LCA considera también los equipos necesarios en la operación normal del edificio como ascensores, generadores de calor (bomba de calor), equipos de ventilación o acondicionamiento térmico de interiores, plantas locales de generación eléctrica, instalaciones eléctricas, entre otros.

Las dimensiones de las paredes exteriores particularmente fueron tomadas del modelo en *AutoCAD* midiendo las cuatro caras de ambos edificios extrayendo los espacios correspondientes a las aberturas de las ventanas y las columnas como se muestra en la Figura 56 señalado con color amarillo.

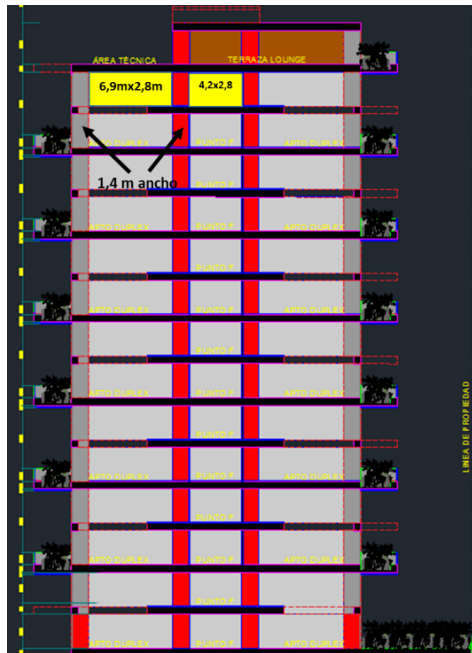


Figura 56. Paredes exteriores de CONTREE

El modelo de *Revit* muestra un grosor para estas estructuras de 15 centímetros cuya configuración de capas de materiales es asumida de adentro hacia afuera como pintura (0,1 mm), estuco (0,2 cm), lana mineral (4,7 cm), y concreto armado con 1% de acero (10 cm) para un peso total de 242 kg por cada metro cuadrado de esta estructura de 15 cm de profundidad. Para las paredes internas de los edificios se tienen estructuras similares. La configuración en estas paredes desde adentro hacia afuera consta de una primera capa de pintura de 0,1 mm, una capa de estuco de 0,2 cm, superboard 2,5 cm, lana mineral 9,6 cm, superboard 2,5 cm, estuco 0,2 cm y pintura 0,1 mm. La Figura 57 resalta dichas paredes interiores correspondientes a las divisiones de las habitaciones, apartamentos y pasillos de ambos edificios.



Figura 57. Paredes interiores de CONTREE



Las ventanas de ambos edificios se encuentran en los apartamentos, pasillos y zonas comunes. Para los apartamentos se tienen cuatro tamaños de ventanas:

- 2 metros de largo por 0,5 metros de alto
- 2,8 metros de largo por 1,6 metros de alto
- 1,15 metros de largo por 1,15 metros de alto
- 6,95 metros de largo por 2,65 metros de alto (balcones)

En cada uno de los pisos de apartamentos, se tiene a cada extremo del pasillo una ventana de 1,5 metros de largo por 1,7 de alto. La zona de *coworking*, al promover la iluminación natural presenta una gran área de cristales. La puerta vidriera de esta zona tiene 4,5 metros de alto y una longitud total de 29 metros. En la totalidad de las ventanas fue considerado un marco estándar de aluminio de 5 centímetros de ancho dado que se desconoce tanto el material como el grosor de los marcos a ser instalados.

El modelo de CONTREE en *AutoCAD* muestra que el buitrón adyacente a las escaleras de la derecha será usado para tuberías. Para la distribución del agua caliente y fría se trazó un esquema potencial igual para todos los pisos a partir del cual se determinaron las medidas necesarias de tuberías y para este fin y ser incluidas en el LCA. Se propone transportar el agua caliente en tuberías de polipropileno o polietileno que pueden llevar agua a mayor temperatura que el PVC y el agua fría en PVC por ser más económico. Dado que la base de datos Exiobase es de tipo “input-output”, es decir, engloba diferentes productos similares bajo una sola etiqueta, todas estas tuberías fueron encasilladas en la categoría “plásticos” por la ausencia de detalle para los factores de emisiones particulares de estos materiales.

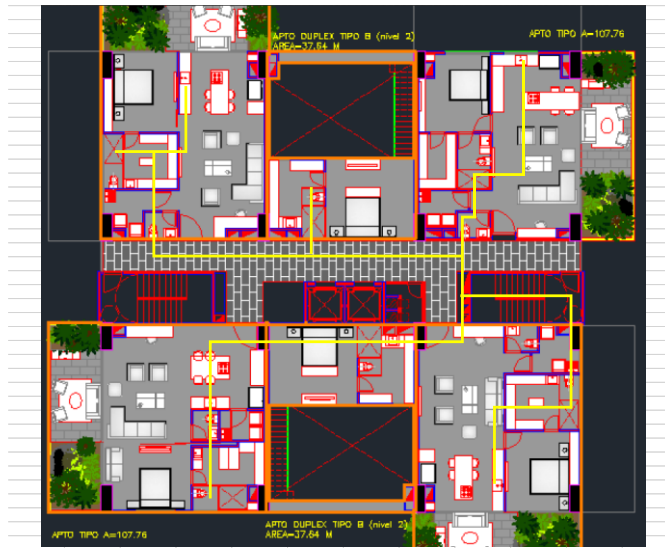


Figura 58. Esquema de potencial distribución del agua en un nivel de viviendas

Para cada uno de los tipos de suelos presentes en el proyecto se definió una configuración particular de las capas que lo componen con el fin de realizar un LCA relativo a los materiales y proporciones reales que serán empleados en la construcción del conjunto residencial. Para los 14.091 metros cuadrados correspondientes a la totalidad de los apartamentos, se supuso una configuración de arriba hacia abajo de xxx cm de baldosa, x cm de mezcla adhesiva para baldosas, x cm de cemento, x cm de yeso anhidro y x cm de concreto. Esta última capa que conforma los suelos de 60 cm de ancho se encuentra dispuesta tan solo en un 20% del largo total de la estructura. Es decir, desde una vista lateral del suelo con espesor de 60 cm, la capa de concreto está presente solamente en el 20% total del suelo dado el diseño arquitectónico que propone Conconcreto para estructura que forma una especie de cuadrados “huecos” cuya profundidad corresponde a los x cm de la capa como se muestra en la Figura 59.



Figura 59. Estructura de los techos/suelos de apartamentos

Bajo esta configuración de cuadrados huecos se reduce la cantidad total de concreto a utilizar en los pisos de los apartamentos. La configuración de los 1.720 metros cuadrados correspondientes a los pasillos de todos los niveles de los apartamentos se considera igual a la de las unidades de vivienda con la única diferencia en la apariencia de las baldosas a utilizar. El suelo de los garajes cubiertos tienen un área total de 12.870 metros cuadrados y se supone una configuración de x cm de brea o bitumen y x cm de concreto para un total de 60 cm que contienen, igual que para los apartamentos y pasillos, la presencia del concreto en solo el 20% del área transversal total. El modelo de *Revit* muestra para el parqueadero exterior una configuración del suelo a partir de adoquín de 4 cm encima de una capa de concreto que se supone de x cm para complementar el total de 60 cm que se muestra en el modelo en *AutoCAD* para un área total de 1.020 m<sup>2</sup>. El proyecto presenta 167 balcones como la suma de todos los apartamentos y los balcones situados en diferentes sótanos y terrazas superiores, los cuales presentan la misma configuración de capas compuestas por una primera capa de madera de cedro que se sitúa en solo el 50% del área del balcón dado que el área sobrante es utilizada para la ubicación de plantas, una segunda capa de yeso y una tercera y última capa de aglomerado de madera. Adicionalmente, estos balcones tienen instalada una estructura metálica de 90 centímetros de alta en todo el perímetro que sirve como separador para la seguridad de los usuarios. El segundo nivel de ambos edificios (N2) presenta una superficie compartida entre ellos que puede destinarse para una terraza o para la ubicación de plantas. Esta estructura está compuesta por una primera capa de madera de cedro de 8 centímetros de grosor sobre una capa de concreto de 52 centímetros que, igual que otras estructuras, se esparce sobre toda el área en forma de cuadrados huecos de manera que está presente en tan solo el 20% del área total de esta estructura. Los apartamentos que se encuentran en este mismo nivel cuentan así mismo con terrazas que cuentan con la misma configuración de madera y concreto. La última estructura definida como un suelo en el proyecto es el *coworking* situado en el primer nivel (N1) del edificio 1. El modelo de *Revit* sugiere una superficie de 250 m<sup>2</sup> cubierta en porcelanato de 6 centímetros de grosor. Se supone una configuración por debajo del porcelanato de superboard con lana mineral en su interior para aislar acústicamente el salón sobre una capa de concreto esparcido en un 20% sobre el área total para un grosor total de 60 cm.

Las terrazas superiores de los edificios que se tienen destinadas para actividades sociales como asados, cuentan con una primera capa de madera de cedro de 8 centímetros de grosor sobre una capa de grava de 10 cm apoyada en 5 centímetros de

concreto para terminar en una última sección de concreto moldeado en cuadrados huecos de 37 cm de profundidad representando también el 20% total del área con esta configuración. Adicionalmente, este último nivel de cada edificio cuenta con una estructura adicional que sirve de techo para el corredor, escaleras, zona común y cuarto de bombas. Este techo servirá de estructura para la planta de generación eléctrica local del proyecto en concreto armado de 59 centímetros y una capa inferior de estuco de 1 centímetro para dar un acabado homogéneo al techo. En el primer nivel donde se encuentra el parqueadero al aire libre se encuentra una estructura destinada a la recolección común de residuos con un área de 12 metros cuadrados y una altura de 2,8 metros. El techo de esta construcción se supone como una capa de 60 centímetros de concreto armado.

El proyecto cuenta con diferentes tipos de puertas según la habitación a la cual se acceda por medio de estas. La gran mayoría de estas puertas están hechas en madera y para las siguientes se asume un grosor de 8 centímetros:

- 2 puertas para entrar al spa
- 34 puertas para entrar a los cuartos para la basura de cada nivel
- 73 puertas para entrar a las escaleras de los edificios
- 657 puertas que dividen las diferentes habitaciones dentro de los apartamentos
- 112 puertas para cuartos útiles

Adicionalmente, las 160 puertas para ingresar a los apartamentos se asumen con un grosor de 10 centímetros y, según el modelo de *Revit*, la puerta que dirige al gimnasio es de vidrio con un grosor supuesto de 2 centímetros.

Estas estructuras componen la totalidad del grupo KG 300 de la norma DIN 276 en la cual se basa el estándar para realizar el LCA y se muestran resumidas en la siguiente tabla:

*Tabla 29. Componentes de estructuras físicas de CONTREE o Grupo KG 300*

<b>Estructura</b>	<b>Parte</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Grosor (m)</b>
Suelo	Apartamentos	14.091	0,6
Suelo	Pasillos	1.722	0,6
Suelo	Parqueadero interno	12.870	0,6
Suelo	Parqueadero externo	1.020	0,6
Suelo	Balcones	4.019	0,6
Suelo	Terrazas aptos	122	0,6
Suelo	Terrazas de primer nivel	730	0,6

Suelo	Coworking	250	0,6
Muros externos	Muros hacia el oeste	811	0,15
Muros externos	Muros hacia el este	815	0,15
Muros externos	Muros hacia el norte	614	0,15
Muros externos	Muros hacia el sur	614	0,15
Muros externos	Recolección de basura	95	0,15
Muros externos	Separaciones balcones	122	0,15
Columnas	Edificio 1	438	1,4
Columnas	Edificio 2	716	1,4
Columnas	Edificio 1 sótanos	228	1,4
Columnas	Edificio 2 sótanos	252	1,4
Balcones	Baranda metálica (0,4% acero)	2.074	0,9
Muros internos	Apartamentos	7.802	0,15
Muros internos	Pasillos	2.329	0,15
Muros internos	Cuartos útiles	941	0,15
Muros internos	Nivel S3.5	183	0,15
Escaleras	Escaleras	459	0,165
Techos	Terrazas superiores	1.066	0,6
Techos	Acopio de basuras	12	0,6
Puerta	Apartamentos	538	0,1
Puerta	Habitaciones	1.156	0,08
Puerta	Escaleras	161	0,08
Puerta	Cuartos de basuras	60	0,08
Puerta	Cuartos útiles	197	0,08
Puerta	Gimnasio	3	0,08
Puerta	Spa	5	0,08

Adicional a estas estructuras contenidas en el grupo KG 300, el LCA de este trabajo, al basarse en lo estipulado por el estándar *Aktivplus*, considera los equipos que se incluyen en el grupo KG 400 de la norma: ascensores, sistemas de transporte de agua, bombas de calor, plantas de generación eléctrica local, entre otros.

Por tanto, se toman en cuenta las emisiones de GEI correspondientes a un sistema fotovoltaico de 519 kW<sub>p</sub>, dos bombas de calor eléctricas de aproximadamente 40 kW<sub>térmico</sub>, dos tanques de agua caliente de aproximadamente 7 m<sup>3</sup> cada uno, un sistema de tuberías para agua caliente y otro para agua fría aislado y sin aislar respectivamente y cuatro ascensores para finalizar con los componentes de este grupo.

Generalmente para proyectos de construcción en Colombia, dada la escasez de información relacionada con el impacto ambiental de la producción, uso y disposición final de los materiales encontrados en la construcción, los valores particulares para los LCA se toman como valores globales, sudamericanos o del resto del mundo. Por medio

de bases de datos como *Ecoinvent* o *GaBi* que cuentan con un extenso contenido para realizar este tipo de análisis, los valores asignados para las emisiones de gases efecto invernadero, deterioro de la capa de ozono, eutrofización, smog fotoquímico, entre otros factores de impacto ambiental se recurre de manera general a valores globales dado que aún no han sido cuantificados específicamente para Colombia. El acceso a estas dos bases de datos mencionadas debe realizarse mediante una licencia de pago, lo cual restringe la exactitud del resultado obtenido del LCA realizado en este trabajo, dado que se empleó una base de datos de carácter gratuito que cuenta con una extensión menor en cuanto a la disponibilidad de información. La información utilizada en este trabajo proviene de *Exiobase*, base de datos global del año 2007 que contiene información sobre cerca de 40 países, 5 regiones mundiales y 200 productos (Tukker et al., 2013). Por medio de *Exiobase* y la información que suministra para América Latina (WL) se determinaron las emisiones de GEI relativas a la mayoría de los componentes del proyecto, con algunas excepciones que no estaban contenidas en la base de datos. La principal desventaja frente a la inclusión de estas fuentes denominadas “input-output data bases” es la categorización de productos en familias o grupos que no permiten la especificación de emisiones con respecto a un material en particular. Esto es, la definición del potencial de calentamiento global por kg de una tubería de PP y de PVC se considera igual al estar encasilladas bajo el grupo de plásticos en donde además otros materiales similares pueden nivelar este valor de emisiones por encima o por debajo del valor particular para estos materiales específicos. Valores particulares para las emisiones relativas a los procesos de construcción en Colombia fueron tomados de un estudio de la Universidad de los Andes para el cemento, acero, ladrillo, vidrio y transporte de cemento como se observa en la siguiente tabla:

*Tabla 30. Emisiones de GEI según producción de materiales de construcción en Colombia*

<b>Material</b>	<b>kg CO<sub>2eq</sub>/kg material</b>
Cemento	0,69
Acero	2,94
Ladrillo	0,23
Vidrio	1,47
Transporte concreto*	0,703

\*Este factor se mide por kilómetro recorrido y no por kilogramo de material. Los autores sugieren una distancia promedio de 25 km por viaje de la mezcladora que contiene 6 m<sup>3</sup> de concreto, de los cuales una tercera parte está compuesta por cemento.

**Fuente.** (Cadena Á. et al., 2012)

Para los casos faltantes en los cuales no se tienen datos para Colombia ni para América Latina, se tomaron valores promedio de los países europeos con el fin de pretender una nivelación o normalización de los métodos de producción y disposición final de los diferentes materiales en cuestión y evitar así el uso de valores específicos para un solo país como Alemania. Estos valores europeos fueron obtenidos a través de la aplicación *SBS Building Sustainability* que permite realizar LCA bajo los criterios del estándar de sostenibilidad alemán DGNB. Por medio de esta herramienta se tomaron los valores relativos a los materiales faltantes de la base de datos de la European Sustainable Construction Database (ESUCO). Las emisiones relativas a la producción de una planta fotovoltaica por m<sup>2</sup>, incluyendo paneles, cables, inversores y estructuras, se tomaron del estudio Sustainability evaluation of solar energy systems (SENSE) que hace un promedio ponderado de las diferentes tecnologías fotovoltaicas disponibles en el mercado (módulos monocristalinos y policristalinos de silicio, cadmio y telurio, silicio amorfo, mezclas de cobre, indio y galio, entre otros) para cuantificar el impacto de la producción de estos bienes en el medio ambiente (European Commission, 2006). El estudio cuantifica entonces un total de GEI de 208 kg CO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup><sub>módulos</sub>. Adicionalmente, las emisiones que tienen como origen la generación de energía eléctrica en Colombia según la matriz de generación actual, equivalen a 367 gramos de CO<sub>2eq</sub> por cada kilovatio-hora generado, expuesto en la Resolución 804 de 2017 de la UPME.

Las emisiones de GEI de todos los materiales presentes en el proyecto se muestran en la siguiente tabla con la fuente de la cual fueron obtenidos (para Colombia, América Latina, Europa o global).

Tabla 31. Factores específicos de emisiones de GEI de componentes físicos del proyecto

Localidad	Elemento	Unidad	Kg CO <sub>2eq</sub> /Unidad
Colombia	Barras de acero para construcción	kg	2,94
Colombia	Cemento	kg	0,69
Colombia	Ladrillo	kg	0,23
Colombia	Vidrio	kg	1,47
Colombia	Transporte de concreto	km	0,70
Colombia	Movilidad eléctrica	kWh	-0,89
Colombia	Uso de electricidad de la red	kWh	0,367
Colombia	Uso de electricidad de planta fotovoltaica	kWh	-0,367
América Latina	Tubería plástica	kg	0,72
América Latina	Incineración de plásticos	kg	1,74

América Latina	Incineración de madera	kg	0,30
América Latina	Incineración de restos de construcción	kg	0,43
América Latina	Perfilería de aluminio	kg	1,32
América Latina	Baldosas interiores	kg	0,48
América Latina	Drywall	kg	0,43
América Latina	Yeso	kg	0,48
América Latina	Transporte marítimo	Euro	0,413
América Latina	Transporte terrestre	Euro	0,189
Europa	Pintura	kg	2,53
Europa	Adhesivo de baldosas	kg	0,35
Europa	Manija de ventana/puerta	Pieza	0,13
Europa	Madera	kg	0,02
Europa	Marco de aluminio	m	14,33
Europa	Disposición final de materiales de construcción	kg	0,02
Europa	Bomba de calor (70 kW)	piece	2852
Europa	Concreto C20/25	m <sup>3</sup>	259
Europa	Lana mineral	m <sup>3</sup>	69
Europa	Ascensores	piece	992
Europa	Secciones de acero	kg	1,13
Europa	Brea	kg	0,13
Europa	Tanque de almacenamiento de agua	kg	2,88
Global	Planta fotovoltaica	m <sup>2</sup>	208

Dado que las emisiones tanto para el transporte marítimo como terrestre están dadas con respecto a cada euro que cueste el envío, se hicieron cotizaciones en sitios web de envío con diferentes proveedores para el sistema fotovoltaico y para las bombas de calor. Para el envío en barco, se supuso un trayecto desde China hasta Colombia en los portales *Freightos* y *Worldfreighrates* y para el envío hasta la ciudad de Medellín, se tomaron en cuenta cotizaciones generadas en el sitio web de las empresas *TCC* y *Coordinadora* desde Cartagena hasta dicha ciudad.

Tabla 32. Cotizaciones de envíos de equipos importados a Colombia

Sistema	Tipo de envío	Precio (MM COP)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)
Planta fotovoltaica	Marítimo	32 – 45	12	34.000
Planta fotovoltaica	Terrestre	34	12	34.000



Bomba de calor	Marítimo	2,2-2,8	2	200
Bomba de calor	Terrestre	1	2	200

Fuente. Elaboración propia con cotizaciones realizadas en (Freightos, 2017) y (World Freight Rates, 2013) para el transporte marítimo y (TCC, 2019) y (Coordinadora, 2019) para el transporte terrestre.

Finalmente, la cantidad de emisiones calculadas que promueven el calentamiento global, que se le atribuyen a este proyecto en su construcción, operación y desensamblable, en un tiempo de evaluación de 20 años es de 790,2 kg CO<sub>2eq</sub>/(persona·a). Esta cifra es un valor neto, ya que considera las emisiones que fueron evitadas por medio de la generación de energía eléctrica en el lugar y también, las emisiones no fueron liberadas a la atmósfera por haber cargado automóviles eléctricamente.

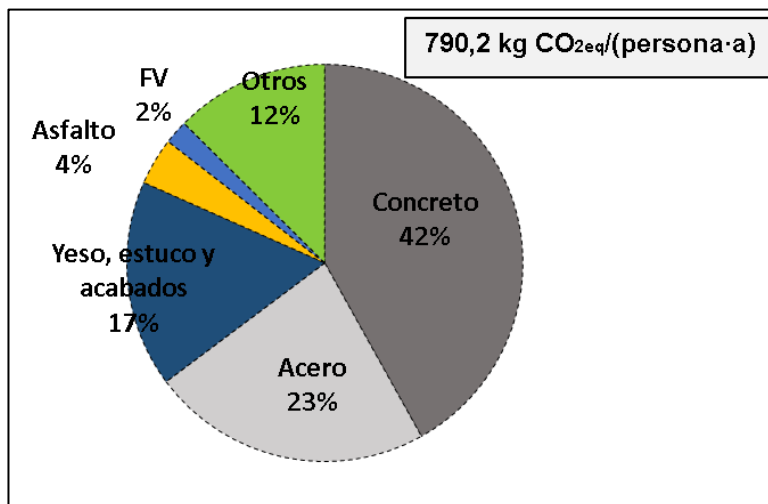


Figura 60. GEI por los materiales usados en CONTREE

En cuanto a las emisiones evitadas por la generación de energía eléctrica, bajo el escenario que se ha venido considerando, denominado “Ef+CI+BC”, se tiene una demanda de energía de 375.140 kWh anualmente que cubren las operaciones tanto de los apartamentos como de las zonas comunes. Bajo la Resolución 804 de 2017 que muestra un factor de emisiones de GEI de 367 gramos por cada kilovatio-hora eléctrico generado en Colombia, se tienen unas emisiones totales de 478 kg CO<sub>2eq</sub> por persona cada año. La planta de generación diseñada en este trabajo, estaría en capacidad de generar anualmente 410.048 kWh equivalentes a evitar 523 CO<sub>2eq</sub> por persona cada año, cifra mayor a las emisiones que surgen de la demanda misma de todo el edificio.

Con respecto a la movilidad eléctrica que promueve el proyecto, la empresa de energía Codensa expresa que por cada kilómetro recorrido en un automóvil particular en

Colombia, se emiten en promedio cerca de 190 gramos de CO<sub>2eq</sub> a la atmósfera por la combustión de la gasolina usada para este fin (2015). Según los modelos de autos eléctricos de la ciudad de Medellín expuestos en el apartado anterior, se tiene un rendimiento de 16,3 kWh/100 km que por consiguiente equivalen a 60 g CO<sub>2</sub> /km. De esta manera, por cada kilómetro recorrido por un auto cargado en CONTREE se están evitando 130 g de GEI o por cada kWh inyectado al vehículo se evitan 790 g de GEI.

El origen principal de emisiones de GEI en el sector de la construcción es el concreto por su alta demanda en cualquier tipo de proyecto, dado que ha sido utilizado tradicionalmente como el componente por excelencia para dar forma, resistencia y protección en edificaciones.

Este proyecto cuenta con cerca de 19 mil toneladas de concreto al ser parte de paredes, pisos, calles, techos y balcones que cuenta con un factor cercano a 0,1 kg CO<sub>2eq</sub>/kg de concreto o 260 kg CO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup>. Dichas emisiones se dan desde su producción en la que se encuentra el conocido proceso de “descarbonatación” de la piedra caliza para la obtención de cal, componente del cemento que a su vez constituye cerca de un tercio del concreto. Adicional a esta liberación de CO<sub>2</sub> por la calcinación de la materia prima, al transporte masivo de mezclas de concreto se le atribuyen también emisiones considerables de estos gases.

Medidas de mitigación frente a este hecho se remiten a la integración parcial de otros aglomerantes en la construcción como la arcilla expandida, que como su nombre lo indica, en su proceso productivo se expande, logrando un mayor volumen y requiriendo una menor tasa de extracción del recurso para llenar el mismo volumen en la obra. Este material, cuya aplicación en la construcción ha sido ampliamente conocida por la sociedad, satisface características requeridas por estándares de construcción para ser implementada en proyectos al contar con una conductividad térmica y alta resistencia a la compresión al mismo tiempo que presenta una densidad casi siete veces menor a la del concreto, permitiendo, con su aplicación parcial, una reducción considerable también en el peso de la obra.

Adicionalmente, con el fin de disminuir las emisiones que serían relativas a la demanda de cemento y por tanto de concreto, es razonable considerar la inclusión de residuos de construcción y demolición (RCD) en la fabricación de dicho hormigón. Dado que las propiedades del resultado final de dicha mezcla con estos desechos dependen del origen de estos desechos y por la falta de homogeneidad resultante es difícil una caracterización única del producto final, no es posible implementarlo masivamente en la

estructura misma del edificio. Al tener quizás diferentes orígenes por ser una mezcla de varios residuos podría ser al menos utilizada en secciones del edificio que no requieran una mayor complejidad en las propiedades finales del material, como en paredes cuya función sea solamente separar más no soportar, como lo hacen los cuartos útiles de los diferentes niveles del sótano que se harían tradicionalmente con concreto.

Para mitigar el 4% de las emisiones totales de GEI del proyecto que se refieren al asfalto de los parqueaderos externos y sótanos, se puede pensar también en la utilización parcial de residuos plásticos que actualmente son utilizados mundialmente en un 40% para la composición de aceras y lozas. El polietileno de alta densidad (PEAD) y el cloruro de polivinilo (PVC) son plásticos ampliamente reciclados para esta finalidad.

Técnicas del conocido método *Lean Construction* para minimizar las pérdidas y utilización al máximo de los recursos también son pertinentes para pretender reducir las emisiones relativas al proyecto. Por medio del mejoramiento continuo que propone la metodología se da un enfoque a la evasión de ineficiencias en cuestiones de materiales sobrantes o que llegan a destiempo, planificación de envíos y movilizaciones acordes a la necesidad, especificaciones y diseños claros para evitar reprocesos, entre otros.

Los costos asociados a los materiales de construcción de este proyecto fueron tomados a partir de información de precios unitarios estándares expuestos por la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) para el año 2017 y en pocos casos para el 2010, valores que por medio del Índice de Precios al Consumidor (IPC) fueron escalados hasta abril de 2019. El Banco de la República de Colombia indica que este incremento de precios desde la fecha cuando se expusieron estos precios estándares de construcción hasta 2019, es de 8,75% y 35,62% respectivamente. En la siguiente tabla se muestran los materiales de construcción implementados en este proyecto con su valor original dado por CAMACOL y el relativo a 2019:

Tabla 33. Costos unitarios de materiales de construcción

Año	Material	Unidad	Precio (COP)	Precio +IPC
2017	Ladrillo Hueco (separador de balcón 15 cm)	m <sup>2</sup>	\$ 29.383	\$ 31.954
2017	Barra acero 40000 psi	kg	\$ 2.559	\$ 2.783
2017	Losa maciza de piso (hasta 15 cm)	m <sup>2</sup>	\$ 64.463	\$ 70.103
2017	Concreto escaleras macizas	m <sup>3</sup>	\$ 634.218	\$ 689.712
2017	Piso adoquín conc.(vehic.)	m <sup>2</sup>	\$ 51.382	\$ 55.878
2017	Piso baldosa	m <sup>2</sup>	\$ 67.315	\$ 73.205

<b>Año</b>	<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio (COP)</b>	<b>Precio +IPC</b>
2017	Piso porcelanato	m <sup>2</sup>	\$ 76.305	\$ 82.982
2017	Tub. pvc-s 4"(aguas negras en apartamentos)	m	\$ 26.303	\$ 28.605
2017	Tub. pvc-s 6"(aguas negras principal)	m	\$ 77.492	\$ 84.273
2017	Tub. pvc-p 2.1/2"(a.fria en apartamentos)	m	\$ 76.408	\$ 83.093
2017	Tub. pvc-p 4" (a.fria principal)	m	\$ 91.464	\$ 99.467
2017	codos y accesorios	und	\$ 9.974	\$ 10.847
2017	Puerta madera uso int	und	\$ 113.523	\$ 123.456
2017	Puerta madera lujo uso int	und	\$ 173.405	\$ 188.578
2017	Ventana aluminio celosia	m <sup>2</sup>	\$ 95.818	\$ 104.202
2017	Pasamanos horizontal-tuberia	m	\$ 57.141	\$ 62.141
2017	Shute de basura	m	\$ 199.383	\$ 216.829
2017	Cerradura ent.ppal sobreponer	und	\$ 85.606	\$ 93.097
2017	Estuco en muros	m <sup>2</sup>	\$ 4.327	\$ 4.705
2017	Vinilo tipo 1 en muros (3 manos)	m <sup>2</sup>	\$ 4.858	\$ 5.283
2017	Cielo raso suspendido	m <sup>2</sup>	\$ 70.648	\$ 76.829
2010	Adhesivo baldosas	gal	\$ 29.412	\$ 39.889
2010	Asfalto	gal	\$ 5.220	\$ 7.079
2010	Lana mineral	m <sup>3</sup>	\$ 544.444	\$ 738.376
2010	Concreto 3000 psi	m <sup>3</sup>	\$ 346.161	\$ 469.464
2010	Mortero	m <sup>3</sup>	\$ 491.284	\$ 666.280
2010	Vidrio plano	m <sup>2</sup>	\$ 44.080	\$ 59.781
2010	Lámina de madera (8 cm)	m <sup>2</sup>	\$ 49.000	\$ 66.454
	Planta FV*	kW <sub>p</sub>	\$ 3.960.000	\$ 3.960.000
	Bomba de calor ^	und	\$ 72.000.000	\$ 72.000.000
	Tanque de agua caliente ^	und	\$ 21.600.000	\$ 21.600.000

\*Basado en precios dados por (CELSIA, 2018)

^Precio unitario basado en proyectos realizados por EGS-

Plan

**Fuente.** (Camacol, 2017a)

Las cantidades particulares utilizadas de cada uno de los materiales de construcción presentes en el proyecto fueron estimadas de los modelos de Revit y AutoCAD en donde se tienen las dimensiones potenciales de todo el proyecto con sus partes. En el momento de la construcción real del proyecto, podría llevarse a cabo una comparación de los volúmenes aquí estimados con la implementación que en efecto se realice en la construcción. Las cantidades estipuladas para la construcción se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34. Cantidad de materiales estipulada en la construcción del edificio

Material	Unidad	Cantidad	Precio total (COP)
Ladrillo Hueco (separador de balcón 15 cm)	m <sup>2</sup>	97	\$ 3.105.898
Barra acero 40000 psi	kg	222.318	\$ 618.651.219
Losa maciza de piso (hasta 15 cm)	m <sup>2</sup>	18.817	\$ 1.319.130.428
Concreto escaleras macizas	m <sup>3</sup>	76	\$ 52.235.311
Piso adoquín conc.(vehic.)	m <sup>2</sup>	1.020	\$ 56.995.450
Piso baldosa	m <sup>2</sup>	16.271	\$ 1.191.118.333
Piso porcelanato	m <sup>2</sup>	250	\$ 20.745.452
Tub. pvc-s 4"(aguas negras en apartamentos)	m	1.860	\$ 53.204.393
Tub. pvc-s 6"(aguas negras principal)	m	120	\$ 10.112.743
Tub. pvc-p 2.1/2"(a.fria en apartamentos)	m	3.720	\$ 309.106.744
Tub. pvc-p 4" (a.fria principal)	m	240	\$ 23.872.182
codos y accesorios	und	279	\$ 3.026.176
Puerta madera uso int	und	2.298	\$ 283.712.868
Puerta madera lujo uso int	und	538	\$ 101.379.616
Ventana aluminio celosia	m <sup>2</sup>	749	\$ 78.021.029
Pasamanos horizontal-tuberia	m	383	\$ 23.768.891
Shute de basura	m	120	\$ 26.019.534
Cerradura ent.ppal sobreponer	und	747	\$ 69.543.429
Estuco en muros	m <sup>2</sup>	20.915	\$ 98.408.246
Vinilo tipo 1 en muros (3 manos)	m <sup>2</sup>	20.915	\$ 110.504.483
Cielo raso suspendido	m <sup>2</sup>	19.045	\$ 1.463.208.208
Adhesivo baldosas	gal	42.492	\$ 1.694.946.986
Asfalto	gal	170.238	\$ 1.205.177.443
Lana mineral	m <sup>3</sup>	437	\$ 323.014.939
Concreto 3000 psi	m <sup>3</sup>	5.218	\$ 2.449.777.698
Mortero	m <sup>3</sup>	24	\$ 16.190.597
Vidrio plano	m <sup>2</sup>	4.443	\$ 265.592.307
Lámina de madera (8 cm)	m <sup>2</sup>	8.829	\$ 586.720.600
Planta fotovoltaica	kW <sub>p</sub>	519	\$ 2.055.240.000
Bomba de calor	und	2	\$ 144.000.000
Tanque de agua caliente	und	2	\$ 43.200.000
<b>Total Materiales de construcción</b>			<b>\$ 14.642.650.813</b>
<b>Total equipos (FV y agua caliente)</b>			<b>\$ 2.242.440.000</b>
<b>Total construcción proyecto</b>			<b>\$ 16.885.090.813</b>

Se tiene finalmente un costo aproximado de 17 mil millones de pesos para la construcción de CONTREE de los cuales el 13% corresponde al sistema de generación local de energía eléctrica (planta fotovoltaica) y energía térmica (bombas de calor). Adicionalmente, considerando los primeros 20 años de vida del edificio, se suponen otros insumos necesarios como lo son los servicios de importación de energía eléctrica, acueducto y alcantarillado. Dado que este esquema de costos se realiza para el escenario definido como “Ef+CI+BC” en el cual el proyecto tiene un gasto energético solamente de electricidad, al cubrir la demanda de agua caliente con bombas de calor y de cocción por medio de estufas de inducción, no se requiere el consumo de gas natural.

Según los precios de Empresas Públicas de Medellín, prestador del servicio de acueducto y alcantarillado, a abril de 2019 para estrato 6, el valor del metro cúbico por hogar para acueducto, llega a \$4.028,94 más un cargo fijo de \$9.876,58 y para alcantarillado de \$3.550,83 con un cargo fijo de \$5.668,64 (EPM, 2019). La Tabla 19 muestra que según el patrón de generación de energía eléctrica y de consumo dentro de CONTREE, anualmente para satisfacer la demanda de energía eléctrica que no se alcanza a cubrir con la planta local se importan 204 MWh a un precio de \$ 455, costo mencionado anteriormente, y el total del exceso de generación alcanza un valor de 240 MWh cada año con un precio de venta de \$171. La matriz de costos de los primeros veinte años del edificio, tiempo que considera el estándar para este tipo de evaluación se muestra en la Figura 61. Este valor total de costos distribuido en los 160 apartamentos que equivalen a 14.091 m<sup>2</sup> lleva a un valor de \$1.552.435/m<sup>2</sup>.

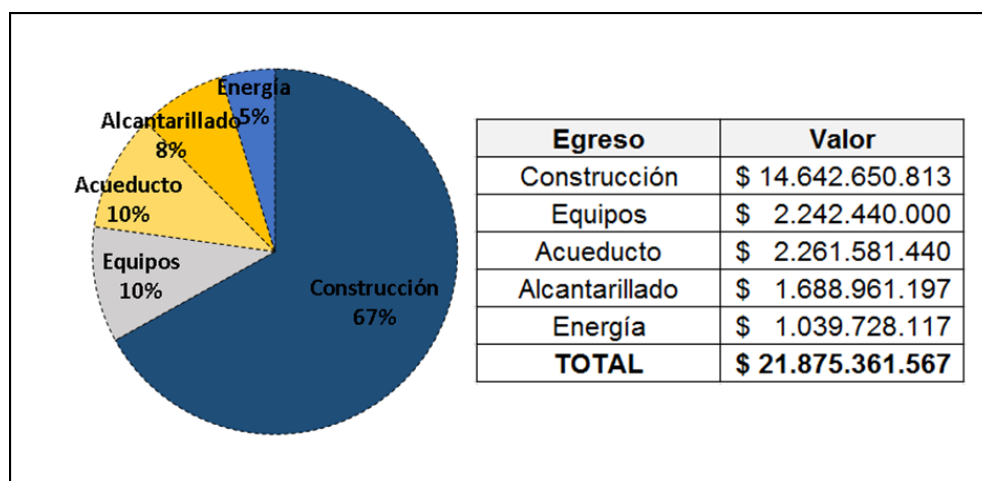


Figura 61. Distribución de costos de ciclo de vida del edificio

## 7. CONCLUSIONES DE ESTE TRABAJO

Este trabajo aspira a exponer los motivos por los cuales es pertinente para el desarrollo sostenible que pretende Colombia hacia el año 2050, la consideración de un modelo de edificaciones que no solo sirvan de vivienda para la sociedad sino que también tengan un impacto positivo en el ambiente. La integración de las tecnologías de generación de energía descentralizada a partir de fuentes renovables con metodologías de uso eficiente de este recurso que se caracterizan en este trabajo, abarcan las dos metas de la Transición Energética global desde el sector de la construcción. Por medio de la introducción e implementación en el contexto colombiano de este tipo de proyectos en la construcción, se propone una iniciativa enfocada en disminuir la brecha existente entre diferentes necesidades o problemáticas del contexto colombiano actual y su cubrimiento o solución total. Puntualmente, en primera instancia se reflejaría la influencia de los *Energy Plus Buildings* en Colombia en la disminución del auge en el uso de centrales termoeléctricas para la generación de energía frente a épocas de sequía por alta dependencia de los recursos hídricos. Paralelamente, se encuentra la segunda necesidad que se pretende cubrir al establecer una iniciativa para reducir los gases de efecto invernadero, que ya es de interés gubernamental a través de la Estrategia Colombiana de Desarrollo de Bajo Carbono para el sector de la vivienda, cuya formulación aún no está terminada y podría integrar conceptos como los expuestos por *Aktivplus*.

Este proyecto de vivienda multifamiliar plantea ser un piloto en Colombia bajo este estándar de construcción alemán y servir como referencia para futuras edificaciones en cuya planeación se tenga interés por la inclusión de estos conceptos. El esparcimiento en la materialización de edificios que generen más energía de la que necesitan se verá fomentada por el contexto mismo de Colombia, dado que incentivará desde diferentes puntos de vista a que los interesados puedan hacer uso de un marco legal y económico que agilicen la construcción de los proyectos: El segundo capítulo de la construcción sostenible en Colombia que inicia en 2019 puede permitir que sean ampliamente difundidos estos conceptos propuestos por los estándares de energía, el crecimiento económico notable de Colombia en las últimas dos décadas puede significar una viabilidad para planes de financiamiento, inversión del Estado en estos proyectos o vías que promuevan su realización. Por último el ámbito legislativo colombiano por medio de

acciones como la Ley 1715 pretende derrumbar el paradigma de que las energías alternativas aún no son competencia económica frente a los energéticos tradicionales.

## 8. ANEXOS

### A. EJEMPLO DE UN *ENERGY PLUS BUILDING* BAJO EL ESTÁNDAR

#### ENERGÉTICO *AKTIVPLUS*

Como se mencionó en la [sección 2.2.1](#), se presenta el resultado del diseño de un *Energy Plus Building* bajo el estándar energético *Aktivplus* que entró en funcionamiento en el año 2015 en la ciudad de Frankfurt, Alemania.

El balance de energía bajo esta metodología tiene como frontera el tamaño de la tierra en la cual se construye el o los edificios (evaluación de barrios bajo estándar). La energía eléctrica generada dentro del sistema se da por medio de la instalación de 251 kW<sub>p</sub> de paneles fotovoltaicos en el techo y 118 kW<sub>p</sub> en la fachada sur para una generación anual de 299 MWh o 34 kWh/m<sup>2</sup> teniendo un consumo de energía final cada año de 251 MWh o 28,6 kWh/m<sup>2</sup>. Respectivamente tienen un factor de generación de 980 kWh/(kW<sub>p</sub>·a) y 450 kWh/(kW<sub>p</sub>·a). Se cuenta con una batería de 250 kWh de capacidad para fomentar que el exceso de generación sea usado en el interior del edificio antes de ser enviado a la red común de electricidad. Adicionalmente, como la generación limpia de energía eléctrica por sí sola es tan solo una solución parcial para alcanzar las metas de la Transición Energética, es imperativo el uso eficiente de la energía en el edificio. Es por esto que la totalidad de la energía necesaria para calefacción y agua caliente es aportada por una bomba de calor de 120 kW<sub>th</sub> que recurre a las aguas negras de la ciudad como fuente de calor por medio de un intercambiador de calor instalado en los ductos de la ciudad. De esta manera se evita el uso de aceites y gases combustibles como fuente de energía térmica para estas labores. Se tiene una caldera de condensación alimentada con gas natural solamente como respaldo frente a fallos, reparaciones o mantenimiento de la bomba de calor. Para continuar con el uso eficiente de la energía y promover que en el balance energético anual efectivamente se haya generado una cantidad mayor de energía que la necesaria por el edificio, todos los apartamentos (que son dispuestos en su totalidad para el arriendo y no para la venta), vienen dotados de electrodomésticos de alta eficiencia con el fin de evitar que los inquilinos instalen equipos viejos con eficiencias bajas que aumenten



considerablemente el consumo final de energía. Cabe resaltar también que la ventilación de los apartamentos se hace por medio de sistemas de recuperación de calor que son una medida simple y eficiente para preservar el calor sobretodo en invierno, cuando el aire del interior del apartamento que ya fue térmicamente acondicionado le transfiere calor al aire fresco de entrada para evitar que se desperdicie aire caliente ventilado a la atmósfera. Un esquema general de las diferentes tecnologías integradas en el proyecto “Aktiv-Stadthaus” en Frankfurt se encuentra en la siguiente figura.

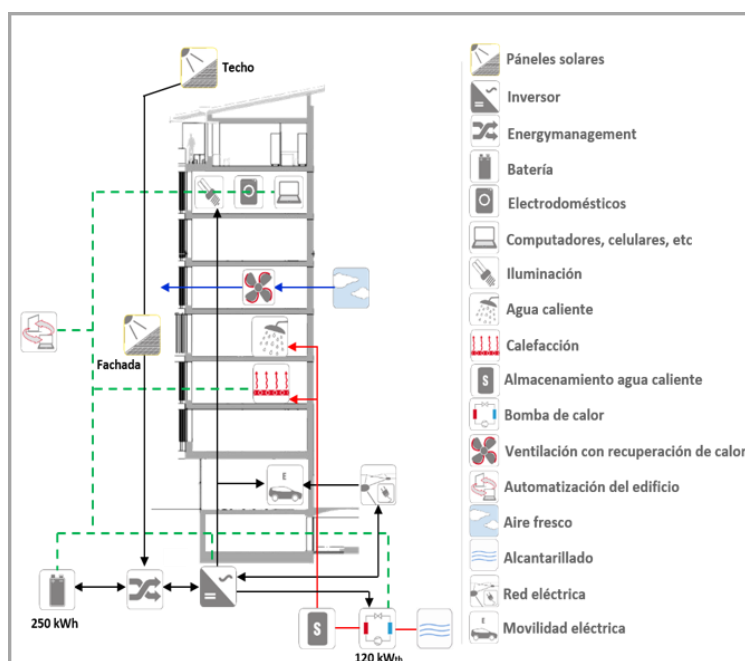


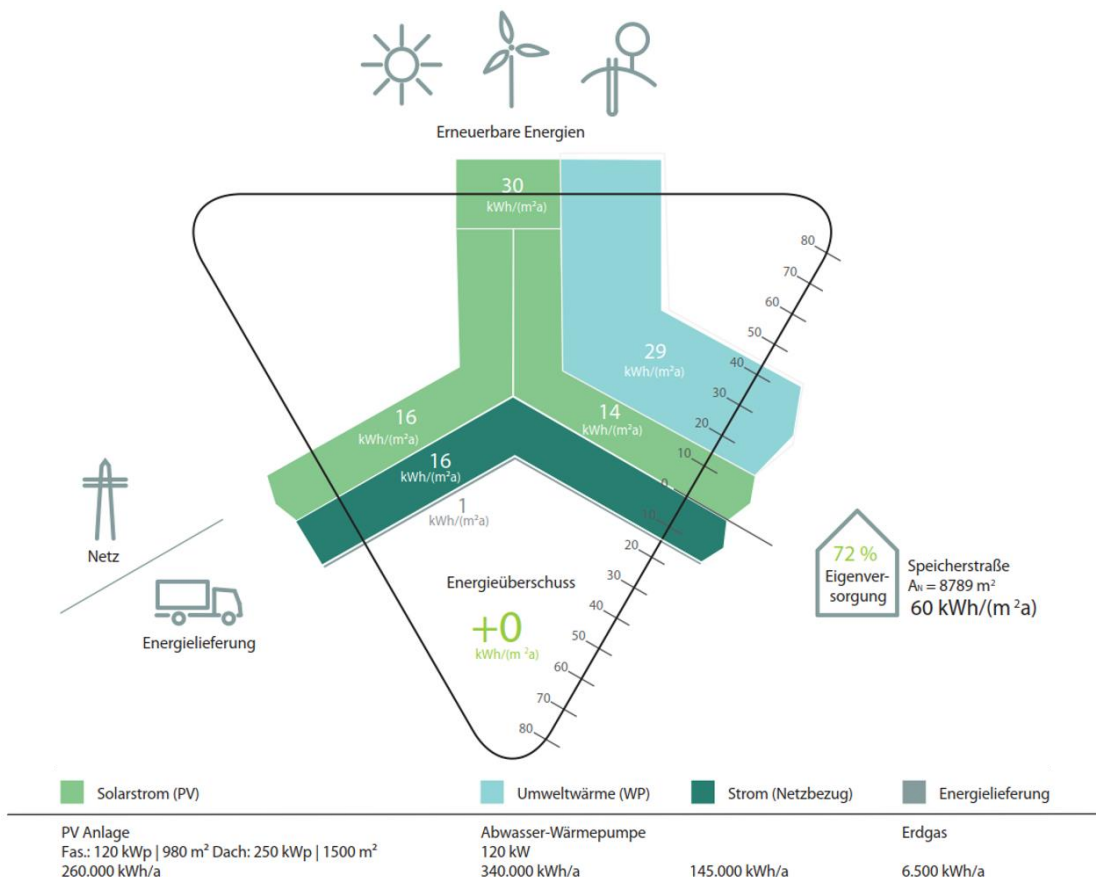
Figura 62. Esquema energético de Aktiv-Stadthaus Frankfurt

**Fuente.** (EGS-Plan, 2018)

En cuestiones de monitoreo del consumo energético de cada unidad de vivienda, se provee una interfaz visual (Tablet) que permite apreciar el comportamiento histórico del uso de este recurso y compararlo con los valores ideales de consumo con el fin de tomar decisiones cuando aún pueden tener una repercusión positiva en consumo de cada casa. Otro concepto importante para resaltar es la inclusión de movilidad eléctrica dentro del edificio, en donde hay plazas de recarga de autos y una plataforma para hacer uso compartido de los automóviles por parte de los residentes del edificio con el fin de disminuir el tráfico en la ciudad y la energía necesaria por movilidad de cada persona.

Finalmente, la identificación o etiqueta que obtiene este proyecto evaluado con esta metodología se muestra en la Figura 63 al evaluarse el desempeño del edificio tras el primer año de operación. En esta se expresa el balance energético en un triángulo que

relaciona con color verde la energía generada dentro del sistema y en qué proporción es repartida entre el uso mismo del recurso y la inyección a la red, en color gris claro cuánta energía térmica fue generada a partir de la bomba de calor para procesos de calentamiento de agua y calefacción, cuánta energía eléctrica se tomó de la red común y por último la línea delgada de color gris oscuro muestra la cantidad de otros energéticos necesarios (en este caso gas natural para la caldera de condensación que se usó por defectos en la bomba de calor. En la parte inferior se muestra una primera barra con la demanda energética anual por metro cuadrado del edificio con una flecha gris y a la izquierda esta demanda considerando el autoabastecimiento con energía que proviene del mismo sistema fotovoltaico del edificio con una flecha negra y otra blanca. Dichas flechas indican el valor calculado en el diseño del edificio o valor teórico y el medido o real tras el primer año de operación respectivamente. La segunda barra muestra el porcentaje de la demanda energética fue aportado por la generación *in situ* por medio de módulos y bomba de calor con el mismo señalamiento de las flechas.



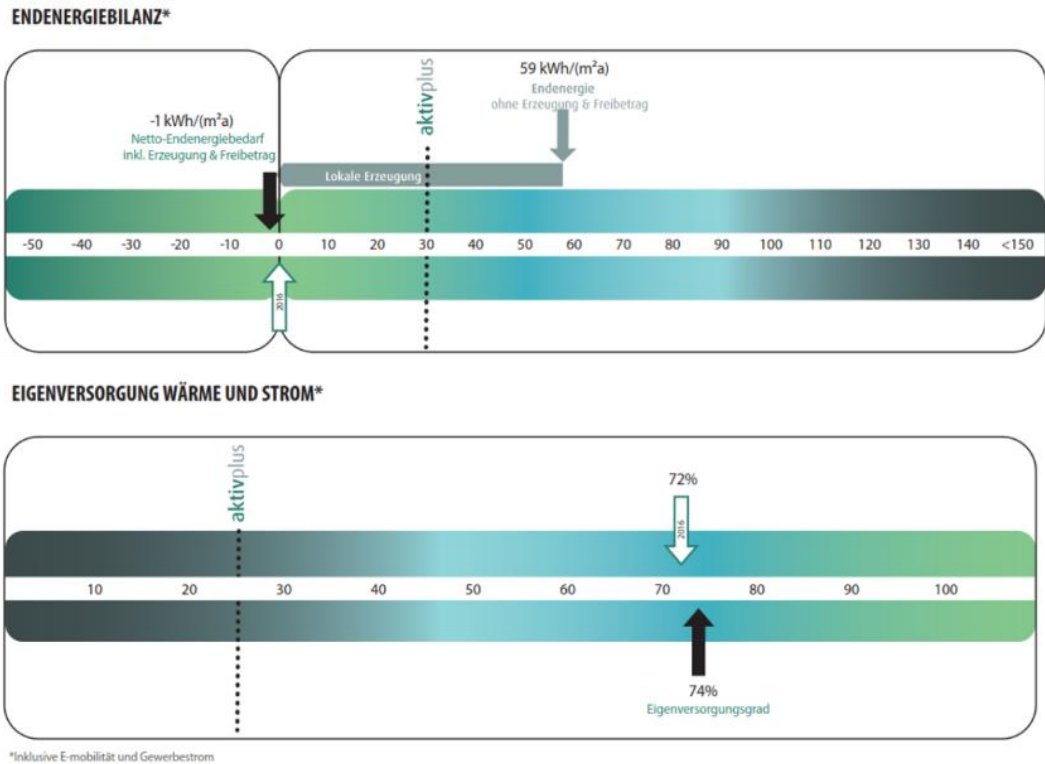


Figura 63. Cédula Aktivplus de Aktiv-Stadthaus

**Fuente.** (EGS-Plan, 2017)

La siguiente figura muestra la cuantificación del exceso de energía generado por el edificio Aktiv-Stadthaus en Frankfurt y el comportamiento teórico si el mismo edificio fuera construido en la ciudad de Medellín en donde no es necesario el gasto energético por calefacción de vivienda y la radiación solar anual es mayor.

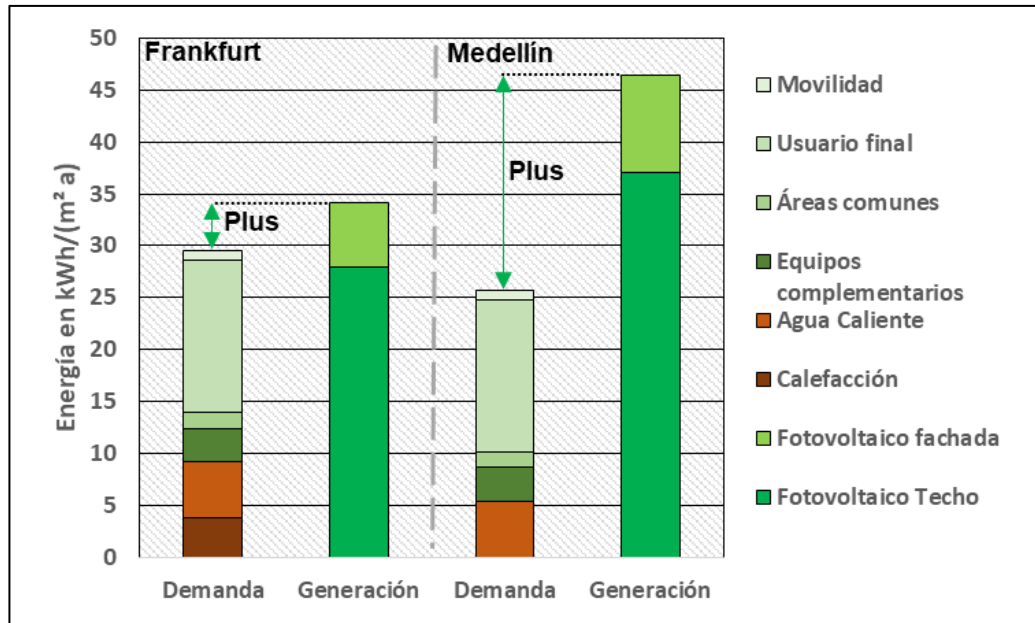


Figura 64. Generación y demanda energética de Aktiv-Stadthaus en Frankfurt y valores teóricos si fuera construido en Medellín.

Fuente. Elaboración propia con datos de (EGS-Plan, 2018)

## B. COMPARACIÓN ENERGÉTICA ENTRE ALEMANIA Y COLOMBIA

	Factor	Colombia	Alemania
Generalidades	Población (MM)	49,07	82,79
	Demanda energía primaria (GWh/año)	488231	3.736.389
	Demanda energía final(GWh/año)	338.841	2.542.000
	% Pérdidas técnicas y no técnicas	31%	32%
	Sector de mayor demanda (GWh/año)	Transporte - 138.586 (40,9%)	Transporte - 749.000 (29,5%)
	Demanda en sector residencial (GWh/año)	56.654	665.000
	Demanda en sector residencial (MWh/person año)	1,2	8,1
	Mayor consumidor en residencial	Cocción: Urbano (46%) Rural (77%)	Calefacción: 69%
	Leyes para edificaciones nuevas	Resolución 549/2015	EnEV y Directiva 2010/31/UE
	Estándares de sostenibilidad para edificios	LEED y CASA	DGNB, LEED, BREEAM
Energías renovables	Estándares de energía en edificios	-	Passivhaus, Aktivplus, KfW Effizienzhaus, Effizienzhaus Plus
	g CO <sub>2eq</sub> /kWh <sub>eléctrico</sub>	367	489
	Índice de sostenibilidad	48	7
	Potencia instalada en FV (MW)	30	42.980
	Potencial de instalación FV (MW)	Radiación promedio: 4,5 kWh/(m <sup>2</sup> d) y 40 GW	Radiación promedio: 3,0 kWh/(m <sup>2</sup> d) y 200 GW
	Potencia instalada en eólica (MW)	19,5	56.154
	Potencial de instalación eólica (MW)	29.500	285.000
	Potencia instalada en bioenergía (MW)	92	36
	Potencial de instalación en bioenergía (MW)	14228,4	5.330 (45.000 si se consideran cultivos solo para energía)
	Potencia instalada electricidad con geotérmica (MW)	-	34,83
	Potencia instalada térmica con geotérmica (MW)	-	4.600
	Potencial de instalación de electricidad con geotérmica (MW)	-	35.616
	Potencial de instalación de calor con geotérmica (MW)	10.000	-
	Potencia instalada de hidroeléctrica (MW)	11.722	5.490
Potencial de instalación con hidroeléctrica (MW)	56.187	3.790 - 4.806	

Figura 65. Comparación energética entre Alemania y Colombia

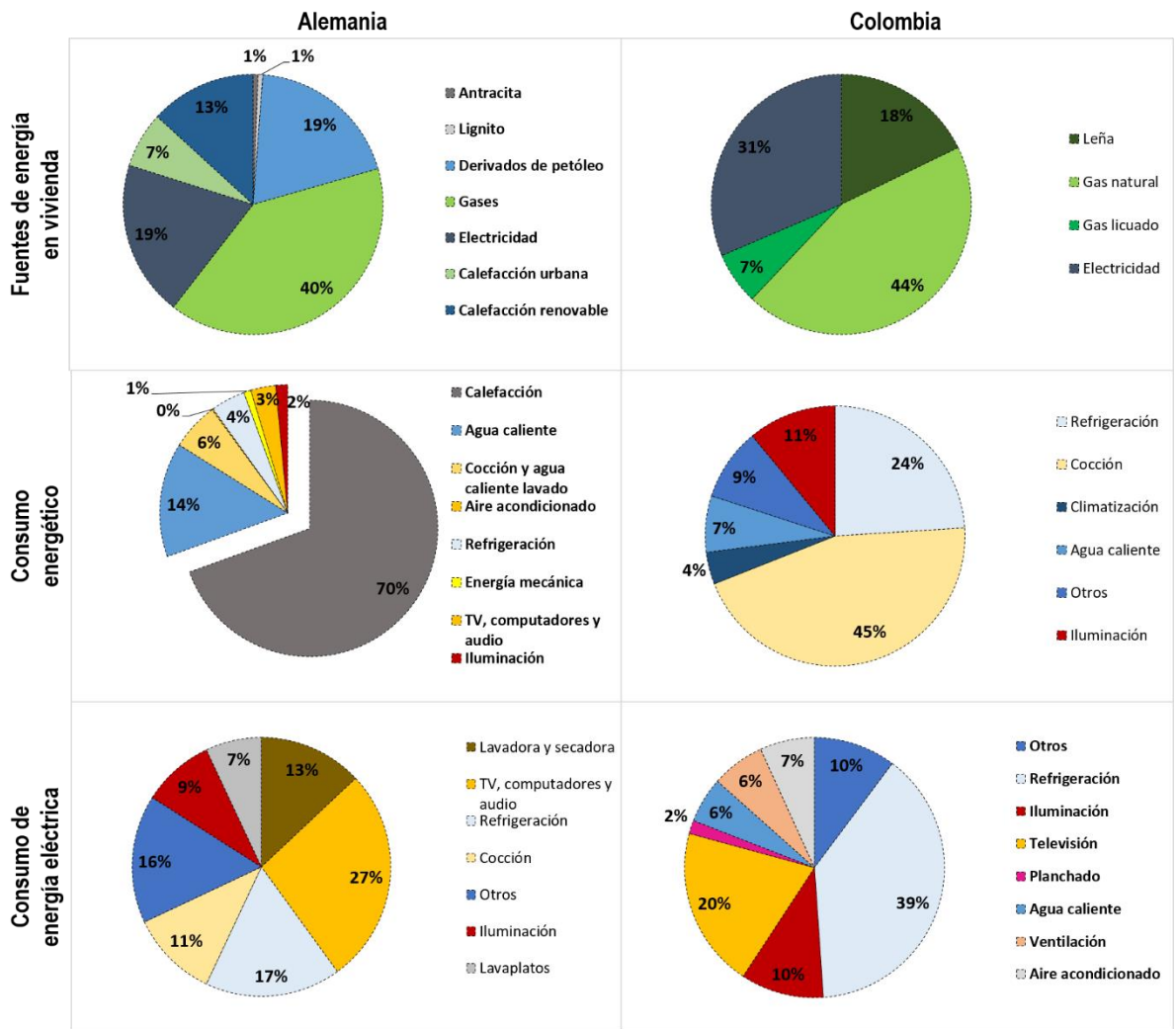
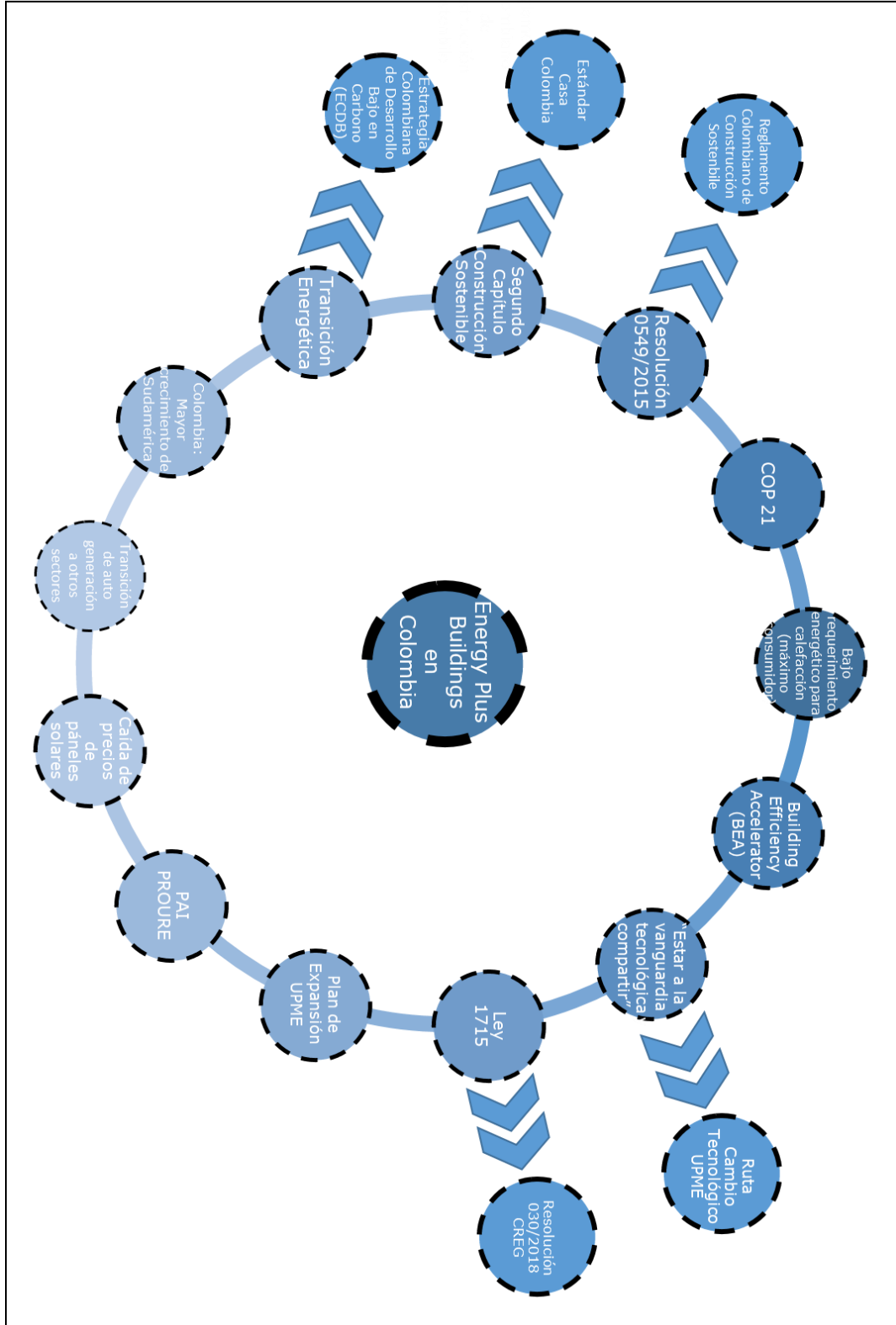


Figura 66. Caracterización de consumo energético en viviendas en Colombia y Alemania

**Fuente.** Elaboración propia con fuentes para Colombia de (UPME, 2017a) y (Ministerio de Minas y Energía, 2016b) y para Alemania (Umwelt Bundesamt, 2016) y (Stromspiegel, 2016).

**C. FACTORES QUE INCENTIVAN EL DESARROLLO EN COLOMBIA DE EDIFICIOS QUE GENEREN MÁS ENERGÍA DE LA QUE NECESITAN PARA SU OPERACIÓN**



## D. COMENTARIOS PARA LA DEFINICIÓN DE UN ESTÁNDAR DE ENERGÍA PARA EDIFICIOS EN COLOMBIA

Desde diferentes puntos de vista es posible argumentar la validez de la aplicación de estándares de sostenibilidad y en especial de energía para la construcción como una de las vías particulares para incentivar el establecimiento de la Transición Energética como componente inherente del desarrollo económico de la sociedad. Particularmente este documento adopta los argumentos de la preservación del medio ambiente, introducción de nuevas tecnologías y el componente ético presente cuando se pretende expandir un nuevo paradigma de las fuentes de generación de energía.

Posiblemente la mayoría de factores que incentiva esta metodología se inclinen hacia una posición en donde se favorece el cuidado de los ecosistemas por medio de la omisión de la combustión de materiales fósiles y el transporte hacia los puntos de consumo de energía y las emisiones de GEI que a estos procesos se les asocia. Adicional al cambio en la generación de energía, se promueve la disminución del uso de este servicio al combinar medidas activas y pasivas que llevan a la implementación de equipos de consumo eficientes, el monitoreo oportuno para la toma de decisiones, alternativas para la movilidad de los usuarios, entre otros.

El estándar que se pretende adaptar a las condiciones colombianas por sus diferencias con Alemania en cuanto al clima, legislación y poder de adquisición está diseñado para que sea flexible en el camino escogido por medio del cual se quiera lograr una edificación que anualmente, cuando se realice un balance de energía, sea mayor la cantidad de energía que se haya generado dentro de sus instalaciones que la cantidad que se fue necesaria para su funcionamiento. A diferencia de las curvas de energía que presentan los *Energy Plus Buildings* en países del hemisferio norte con estaciones como se muestra en la Figura 8, un balance energético para un edificio diseñado bajo esta metodología en Colombia podría tener un comportamiento similar al que se plantea en la Figura 67, en donde no solo es posible tener un mayor exceso de energía generada por los mayores niveles de radiación solar anual sino que por la posición tan cercana al ecuador, se tienen una generación y demanda de energía relativamente constante a lo largo del año, salvo un leve incremento en la generación hacia la mitad del año.



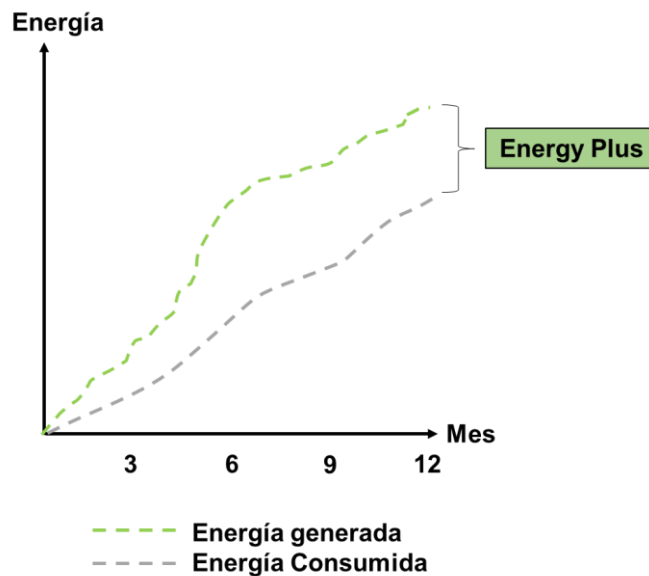


Figura 67. Balance de energía común en un Energy Plus Building en Colombia

Este balance energético que plantea el estándar es de carácter neto. Es decir, considera tanto las entradas como salidas de energía del sistema o edificio. A la demanda de energía anual se le resta la generación y cuando el resultado de esta resta es negativo, se tiene un *Energy Plus Building*. Este primer requerimiento del estándar *Aktivplus* también fomenta el diseño de edificios que tengan un uso energético “casi nulo” como es requisito de la Unión Europea para las nuevas construcciones al otorgar también una distinción a edificios que tengan una demanda neta de energía menor a  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Aunque no se alcance a tener un balance de energía negativo, alcanzar este valor de demanda energética en un edificio en Alemania es aún un reto dado que el consumo promedio de energía en este país en el sector de la vivienda asciende a los  $172 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  de los cuales el 70% es demandado por la calefacción que generalmente se da por medio del uso de combustibles fósiles (anexo B) y el 6% de la electricidad se necesita para operar los equipos relacionados con este proceso (Umwelt Bundesamt, 2016). Este valor de consumo por unidad de área es resultante de la distribución de la sociedad alemana en sus viviendas, donde se estima que cada habitante del país vive en  $46,5 \text{ m}^2$  (Institut der deutschen Wirtschaft, s. f.). Este estándar de energía otorga también la distinción *Aktivplus* a los edificios que no alcanzan a tener una generación mayor a su consumo de energía pero que de igual manera, mediante la integración de un uso racional de la energía y la generación por medio de fuentes renovables, reducen su consumo energético en más del 80% del promedio del país.

Una traducción literal de este requerimiento en Colombia sería muy laxo y el desafío de mitigar considerablemente la demanda de energía sería de fácil cumplimiento dada la ausencia en gran parte de las zonas pobladas del país del mayor consumidor de energía en viviendas. Por medio de diferentes procedimientos se propone dar un estimado del consumo promedio en Colombia por metro cuadrado de vivienda. En primer lugar, el Anexo I de la Resolución 459 de 2015 o el Reglamento Colombiano para la Construcción Sostenible estima para cuatro zonas climáticas del país los valores expresados en la Tabla 8 para viviendas que no son catalogadas como viviendas de interés social:

- 46,5 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) para clima frío
- 48,3 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) para clima templado
- 36,9 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) para clima cálido seco
- 50,2 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) para clima cálido húmedo



Por otro lado, el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 -2022 indica que en Colombia el sector de vivienda consume anualmente un promedio del 17% de la energía del país, valor equivalente a 57 TWh. Camacol asegura que una vivienda formal colombiana tiene en promedio un tamaño de 70 m<sup>2</sup> (2017) y está integrada por 3,3 personas según datos del DANE como lo expone Asobancaria (2018). Por tanto, al ocupar cada colombiano en promedio un área de 21,2 m<sup>2</sup> se tiene un consumo estimado de 55,7 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) o 1.174 kWh/(persona·a). Particularmente para la ciudad de Medellín, según el Informe de Calidad de Vida que calcula el consumo per capita de energía eléctrica y gas natural como 1,52 kWh/(día·persona) y 0,09 m<sup>3</sup>/(día·persona) respectivamente, se tiene entonces un consumo de 894 kWh/(persona·a) o 43 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) y para Sabaneta, municipio del Valle de Aburrá con el mayor consumo de energía, se tienen valores de 1.638 kWh/(persona·a) o 77 kWh/(m<sup>2</sup> ·a). Particularmente para CONTREE se determinó el consumo promedio de energía por metro cuadrado de vivienda por medio de la herramienta proporcionada por el estándar *Aktivplus* como se muestra en la Tabla 11 para el apartamento más común del proyecto (una sola planta) y para un apartamento de dos plantas se tiene un consumo promedio de energía eléctrica de 1.831 kWh/a. Adicional a estos valores debe tenerse en cuenta la demanda sugerida por el estándar de 100 kWh/(persona·a) para cocción y 550 kWh/(persona·a) para calentamiento de agua. La distribución del área por persona para este proyecto en particular es de 40 m<sup>2</sup> para los apartamentos de una sola planta y 55 m<sup>2</sup> para los de dos plantas obteniendo entonces valores de demanda energética de 1.517 kWh/(persona·a)

o 38,9 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) para un apartamento de una planta y 1.565 kWh/(persona·a) y 28 kWh/(m<sup>2</sup> ·a).

De estos bajos valores de demanda energética se aprecia que alcanzar un consumo energético neto inferior a 30 kWh/(m<sup>2</sup> ·a) como lo propone *Aktivplus* requiere de menores esfuerzos respecto a los necesarios en un proyecto en Alemania donde se tiene una demanda de 172 kWh/(m<sup>2</sup> ·a). Teniendo en cuenta que la instalación de 1 kW<sub>p</sub> en un techo de una edificación en Colombia puede llegar a generar entre 1.400 y 1.500 kWh/a si no tiene obstaculización alguna de la luz del sol y el consumo promedio calculado para CONTREE es cercano a los 1.500 kWh/(persona·a) e incluso mucho menor para Medellín es en promedio 900 kWh/(persona·a), sería posible establecer como “regla de dedo” o de cálculo rápido que si cada persona se compromete a instalar 1 kW<sub>p</sub> en su techo se podría estar generando una cantidad de energía equivalente a su gasto anual importado desde la red eléctrica, de gas o cilindro de gas o incluso llegar a tener un *Energy Plus Building*.

En contraste con Alemania, donde el consumo de energía en viviendas es mayor por la necesidad de calefacción y electricidad de apoyo para los equipos auxiliares a este proceso y la radiación solar anual reducida por su ubicación en el hemisferio norte disminuye la capacidad de generación de energía con paneles solares, se plantea la Tabla 35 que muestra la equivalencia en cantidad de paneles necesarios para reemplazar la totalidad de la energía demandada por una persona al año.

Tabla 35. Paneles necesarios para mitigar consumo de energía en Alemania y Colombia

Factor	Alemania	Colombia
kWh/kW <sub>p</sub> *	1.000	1.400
Consumo energético (kWh/(persona ·a))	8.200	1.400
Paneles para cubrir consumo de cada persona <sup>†</sup>		

**Fuente.** Elaboración propia con datos de (Comisión Europea, 2018) para la generación de cada kilovatio-pico instalado.

\*Este factor se refiere a la cantidad de energía que podría generar 1 kilovatio-pico instalado de manera normal ( $90^\circ$ ) a la posición del sol sin ningún obstáculo entre este emisor de luz y el módulo como un árbol o edificación adyacente. Para Colombia se considera un ángulo con respecto a la superficie de  $10^\circ$  y para Alemania de  $30^\circ$  orientado hacia el sur.

\*Se considera un panel estándar de  $250 W_p$  de potencia y por tanto cuatro de estos módulos equivalen a  $1 kW_p$ .

Una iniciativa en Colombia para promover a través de diferentes medios como la difusión de la información o mecanismos particulares de financiamiento, para que cada persona instalara  $1 kW_p$  en el techo de su vivienda podría llevar a que gran parte del inventario de casas y edificios del país llegaran a generar incluso más energía de la que necesitan. El mayor inconveniente con el que quizás podría toparse esta premisa, se presentaría en las grandes ciudades colombianas donde gran parte de los habitantes reside en edificios donde la relación de tamaño techo/altura es bastante baja. Es decir, en las ciudades donde es común la construcción de edificios altos que albergan una gran cantidad de personas de manera vertical evitando la menor ocupación posible del área del suelo, se tiene un área disponible en el techo bastante pequeña en relación con la cantidad de apartamentos que tiene el edificio. Por tanto, puede pasar que el área disponible no sea suficiente para que se instale un sistema cuya potencia en  $kW_p$  sea igual a la cantidad de personas de la vivienda.

Una sugerencia para un futuro estándar de energía colombiano para edificios se asocia, en consecuencia, con los requisitos de demanda de energía neta. El alcance de  $30 kWh / (m^2 \cdot a)$  puede no ser un desafío de semejante envergadura en Colombia como lo es para Alemania debido a la menor demanda y mayor radiación solar con la que se cuenta y, por lo tanto, no esta iniciativa podría hacer una contribución a la Transición de la Energía más laxa. Se sugiere a través de este apéndice del trabajo que para el cumplimiento del requerimiento relativo a la demanda neta de energía para edificios activos en Colombia, se considere principalmente a través del cubrimiento los techos con plantas fotovoltaicas. El hecho de tener en Colombia una participación de paneles fotovoltaicos descentralizados en la matriz de generación eléctrica prácticamente nula, sería contraproducente que la expansión de la implementación de esta tecnología promueva instalaciones de grandes sistemas como un requisito mínimo. Los sistemas de mayor generación significarían una mayor inversión, cuando en el país ni siquiera las plantas de generación pequeñas son ampliamente utilizadas.

A continuación, se hace una comparación de esta sugerencia entre un edificio residencial teórico que se construiría en Colombia y en Alemania exactamente igual, con apartamentos de 100 m<sup>2</sup> y se denomina Edificio 1. Un segundo edificio teórico, denominado Edificio 2, se evalúa también en ambos países con dimensiones idénticas pero con una sala y un comedor más grandes para un área total de 120 m<sup>2</sup>/apartamento, pero la misma cantidad de apartamentos y habitantes del Edificio 1. Ambos edificios constan de 40 unidades de vivienda, dos por piso y, por lo tanto, 20 niveles. Para la cantidad de habitantes del edificio en Colombia, se toma el promedio nacional mencionado anteriormente en este trabajo de 3,3 personas/apartamento y para Alemania se toma el promedio de 46,5 m<sup>2</sup>/persona (Aktivplus e.V., 2016). (Zukunft Bau, 2018) señala una demanda de energía final de 20 kWh/(m<sup>2</sup> · año) para electrodomésticos y 5 kWh/(m<sup>2</sup> · año) para energía auxiliar (energía eléctrica necesaria para llevar a cabo principalmente procesos inherentes a la calefacción) y ventilación. Además, (CO2 Online, 2018) sugiere un consumo promedio de gas para calefacción y agua caliente de 149 kWh/(m<sup>2</sup> · año) en apartamentos en Alemania, mientras que el uso del gas en Colombia está relacionado con la cocción y el agua caliente. Para estas dos tareas en el Valle de Aburrá se obtiene un valor de 615 kWh/(persona · año) como se explica en la sección 4.2. El área útil en el techo para la instalación de una planta fotovoltaica se asumió como el 60% del área o huella del edificio (la suma del área de ambos apartamentos + 5% de esta área correspondiente a un corredor entre ellos). Se utilizó un factor de 6,5 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> para dimensionar el tamaño potencial de la planta fotovoltaica. Con respecto a la generación energética, el factor promedio se toma como 1.400 kWh/(kW<sub>p</sub> · año) que se utilizó para Colombia y 1.100 kWh/(kW<sub>p</sub> · año) para Alemania.

Tabla 36. Comparación de generación y demanda de edificios en Colombia y Alemania

Característica	Colombia		Alemania	
	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 1	Edificio 2
Area por apartamento	100	120	100	120
Apartamentos en edificio	40	40	40	40
Habitantes	132	132	86	86
Niveles en edificio	20	20	20	20
Apartamentos por nivel	2	2	2	2
Demanda de energía [kWh/a]	161.180	177.180	700.000	840.000
Demanda de energía [kWh/m <sup>2</sup> ]	40	37	175	175
Incremento en demanda	10%		20%	

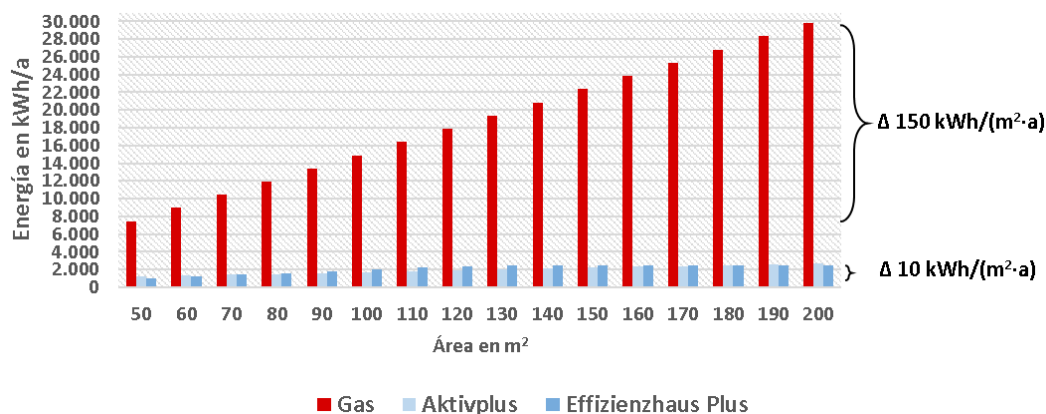
Característica	Colombia		Alemania	
	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 1	Edificio 2
Área en techo [m <sup>2</sup> ]	126	151	126	151
kW <sub>p</sub>	19	23	19	23
kW <sub>p</sub> /persona	0,15	0,18	0,23	0,27
Generación	27.138	32.566	21.323	25.588
Cubrimiento de demanda	17%	18%	3%	3%
Demanda neta	34	30	170	170

Del ejemplo, se observa que la demanda de energía específica o la demanda por m<sup>2</sup> se reduce en Colombia a medida que aumenta el área de cada vivienda. Esto, dado que la demanda de gas para cocinar y agua caliente se relaciona meramente con la cantidad de habitantes y no con el área en sí misma como calefacción. El aumento de la demanda de energía en Colombia debido a un área más grande solo se relaciona con un mayor uso de energía eléctrica que podría originarse por una mayor iluminación o electrodomésticos adicionales. El aumento en la demanda de energía en Colombia simboliza un 10% en este caso particular que es la mitad del aumento en Alemania puesto que la calefacción es omitida. La siguiente figura muestra la tasa de aumento de la demanda de energía final para el gas (calefacción y agua caliente juntas) por cada metro cuadrado según (CO2 Online, 2018) y el aumento de la demanda de electricidad por cada metro cuadrado de acuerdo con el modelo sugerido por Aktivplus como

$$\text{Demanda de electricidad} = 500 * \left( 1,4 + \frac{\text{Área en m}^2}{50} \right) \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right]$$

Y el enfoque de 20 kWh/(m<sup>2</sup>·a) que sugiere *Effizienzhaus Plus*.

Figura 68. Incremento en demanda de electricidad y gas por aumento en área de vivienda



La ausencia de sistemas de calefacción como ocurre en la ciudad de Medellín lleva a que un aumento en el área de una vivienda, lleve un aumento relativamente bajo cercano a 10 kWh por cada metro cuadrado adicional cada año y, el uso del gas al no ser dependiente directamente del área, hace que este aumento de área reduzca la demanda específica por metro cuadrado. Esta situación no se aplica en Alemania, ya que un aumento en el área significa un aumento en la demanda tanto de electricidad como de gas debido a un mayor volumen de aire para ser calentado. También se observa que en Colombia, aunque ambos edificios cubren todo el techo con módulos solares, el Edificio 2 podría cumplir los primeros criterios del Estándar Aktivplus al tener una demanda de energía neta de 30 kWh / (m<sup>2</sup> · año) solo por tener un área más grande. Este caso no sucedería en Alemania, donde el estándar fue diseñado ya que, aunque la demanda energética aumente con el área, el cociente entre estas dos magnitudes es constante. Por esta razón, se sugiere que de acuerdo con la demanda de energía en Colombia, el requisito de un estándar de energía para implementación para edificios de dicho no dependa del área. En tal caso, una fracción de la demanda de energía bruta puede usarse como referencia para que la magnitud de la generación la iguale y sea el requerimiento en este ámbito. Es decir, que el valor de la energía a generar *in situ* sea una fracción de la demanda energética calculada del edificio. Dicha magnitud particular, fracción del consumo base, puede ser determinada en estudios posteriores a este trabajo en donde se consideren otros factores, como el poder de adquisición de los colombianos y áreas disponibles promedio en techos de los edificios en estas ciudades.

El segundo aspecto que se evalúa a través del estándar es la cantidad de la demanda que es posible cubrir con el autoconsumo de la energía generada dentro del sistema. Un edificio que tenga la distinción *Aktivplus* debe proveer por lo menos el 25% de la energía a ser consumida por medio del sistema de generación con fuentes renovables instalado y el 75% restante puede ser inyectado o exportado a la red común.

Este cubrimiento depende tanto de la capacidad de generación del sistema (tamaño) y del perfil de demanda energética, de manera que es posible dar un cubrimiento mayor cuando se instalan más paneles y/o cuando la energía es demandada en periodos cuando el sistema está generando energía. En la Figura 69 se muestra que a medida que aumenta la capacidad instalada del sistema fotovoltaico, la pendiente del domo es mayor y por tanto puede alcanzar a cubrir una mayor parte de la demanda pero existen unos tiempos en los que simplemente sin el uso de una batería no es posible atender

esta demanda por medio de la energía generada por el sistema por más grande que sea.

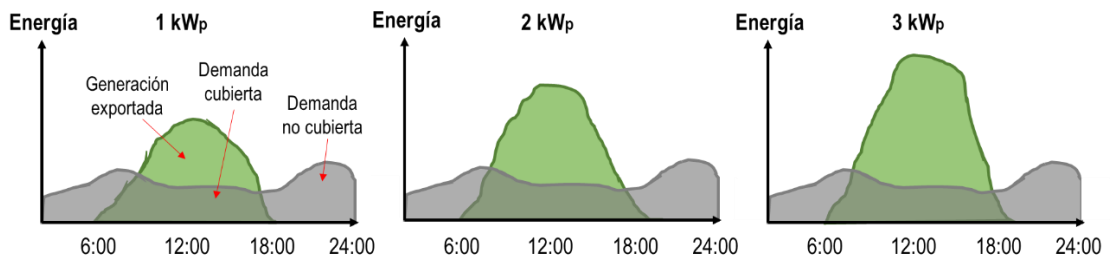


Figura 69. Comportamiento de la generación y demanda por la instalación de más paneles

Para el caso particular del perfil de generación según la radiación solar en Medellín y el perfil de consumo energético horario, se simula a continuación según el escenario de consumo estándar, es decir, un consumo de energía en un apartamento con electrodomésticos de clase de eficiencia promedio, cocción con estufa de gas y calentamiento de agua con calentador de gas que se utilizó en utilizado para CONTREE. Frente a este escenario se evalúan diferentes tamaños del sistema de generación local en el techo por persona para determinar cómo varía según esta relación la proporción de la demanda que puede ser atendida directamente con la generación local. En este caso se toma entonces un consumo eléctrico de 1.149 kWh/(a·apartamento), 650 kWh/(a·persona) de gas natural y un área de apartamento de 80 m<sup>2</sup> en el caso de una sola planta.

Tabla 37. Cobertura de demanda energética según el tamaño del sistema de generación en techo en CONTREE

kW <sub>p</sub> /Persona	Demanda de energía neta (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	Autoconsumo de energía	Cubrimiento de la demanda
0	44	-	-
0,1	40	100%	10%
0,25	35	88%	21%
0,4	29	72%	25%
0,5	25	57%	27%
1	6	32%	31%
2	-32	17%	32%
3	-69	11%	33%
4	-107	9%	33%

Cuando el tamaño del sistema de generación es lo suficientemente grande como para igualar la cantidad de energía demandada (que se alcanza casi con 1 kW<sub>p</sub> en el techo



para cada persona en el edificio solamente), se obtiene una demanda que cubre más del 30%, de acuerdo con estos perfiles. La cobertura máxima posible sin el uso de una batería converge al 33%. De esta manera, para el desarrollo de *Energy Plus Buildings* en Colombia se podría proponer mantener la equivalencia del requisito de Alemania al satisfacer naturalmente esta exigencia. Para los proyectos de edificios que hacen un esfuerzo por generar energía localmente pero no es suficiente para ser etiquetados como *Energy Plus Buildings*, caso tal de los edificios teóricos descritos en la Tabla 36, cuando se cubre todo el techo en Colombia, se obtiene un máximo de 18% de cobertura como se ve en la Figura 70. Por lo tanto, se podría sugerir para promover la generación de energía descentralizada en Colombia con sistemas más pequeños que consisten en cubrir solamente el techo de los edificios, al menos un uso de alrededor del 15% de la energía producida dentro del edificio.

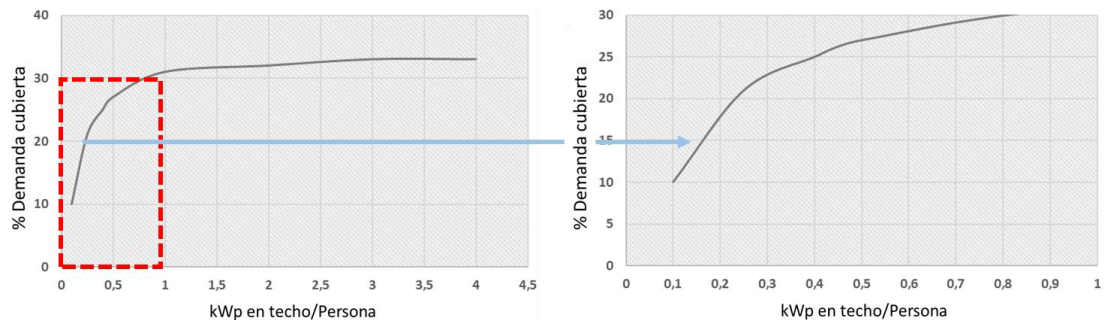


Figura 70. Cobertura de demanda en Colombia según diferentes tamaños de planta fotovoltaica en techo

Uno de los recursos más abundantes pero valorados en Colombia es el agua. Por lo tanto, la Resolución 0549 incluyó valores mínimos de ahorro de agua que los nuevos edificios de Colombia deben cumplir para poder obtener la licencia de construcción. Incluso la *Active House Alliance* en sus especificaciones para obtener la etiqueta del estándar, promueve la minimización del consumo de agua dulce durante el uso del edificio entre 10% y 50% del consumo promedio nacional. El método más simple para ahorrar agua es aquel en el que los usuarios tengan la menor influencia y es la instalación previa a la ocupación de dispositivos eficientes en todo el edificio para que los usuarios no tengan la oportunidad de elegir los más baratos para ahorrar dinero en vez de ahorrar agua. Se recomendaría la instalación de tres dispositivos particulares en esta adaptación para Colombia:

- Lavamanos y pocetas con un flujo de 2 LPM.
- Duchas con un flujo de 6 LPM.

- Inodoros con dos opciones de vaciado de 6 y 4,5 LPF.

Es oportuno también para el ahorro de agua dulce la recolección de agua de lluvia para usos que no implican una pureza significativa del agua, como el cuidado de jardines, tareas de limpieza o inodoros. Los techos y losas del proyecto se pueden usar para el área de recolección de agua de lluvia teniendo en cuenta que el material de la superficie juega un papel importante en la efectividad de la recolección debido a la porosidad y se mide por el llamado "coeficiente de escorrentía". Este potencial de recolección se cuantificaría como

$$\begin{aligned} & \textit{Potencial de recolección de agua lluvia} \\ & = \textit{Precipitación anual (m)} * \textit{Área potencial (m}^2\text{)} \\ & * \textit{Coeficiente de escorrentía} \end{aligned}$$

Este coeficiente varía para cada superficie por de manera general puede tomarse como 0,7-0,95 para asfaltos y 0,8-0,95 para concreto.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2005, septiembre). *Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones*.
- Aktivplus e.V. (2014). *Nutzerstromberechnung*.
- Aktivplus e.V. (2016). *Aktivplus-Gebäude, Anwenderhandbuch zum Aktivplus-Prinzip* (p. 15).
- Aktivplus e.V. (2018). *Aktivplus Website*. Recuperado de <https://aktivplusev.de/>
- Alcaldía de Medellín. (2006). *Medellín y su población*. Recuperado de <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Plan%20de%20Desarrollo/Secciones/Informaci%C3%B3n%20General/Documentos/POT/medellinPoblacion.pdf>
- Alcaldía de Medellín. (2016). *Informe de Calidad de Vida de Medellín 2016* (p. 135). Recuperado de <https://www.medellincomovamos.org/download/presentacion-informe-de-calidad-de-vida-de-medellin-2016/>
- Álvarez, V. A. (2015, junio 12). Por cada 3 habitantes hay un vehículo rodando en Medellín. *El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/movilidad/en-medellin-transita-un-carro-por-cada-tres-habitantes-EB3232363>
- Andemos. (2018). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Diciembre* (pp. 2-4). Recuperado de <http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2019/01/Informe-H%C3%ADbridos-y-El%C3%A9ctricos-2018-12.pdf>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017). *Encuesta Origen - Destino*. Recuperado de [https://www.metropol.gov.co/encuesta\\_od2017\\_v2/index.html#/](https://www.metropol.gov.co/encuesta_od2017_v2/index.html#/)
- Asobancaria. (2018). *Tipología de la vivienda para los hogares del siglo XXI* (p. 7). Recuperado de <https://www.asobancaria.com/wp-content/uploads/1156.pdf>
- BEA. (2016). *Kick off workshop - Building Efficiency Accelerator Bogotá*. Recuperado de <http://buildingefficiencyaccelerator.org/wp-content/uploads/2017/03/Kickoff-Workshop-Summary.pdf>
- Beatrix Massig. (2017). *2017 German Renewable Energy Law and cross-border renewable energy tenders*. Recuperado de <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2017/Mar/8/Bmwi-2017-German-renewable-energy-law-EEG-2017-and-crossborder-renewableenergy-tenders.pdf?la=en&hash=F0B4747F830901A25885C1752FAAE800D84A41A0>
- Biomess. (s. f.). *Wie entstehen Feuchtigkeitsschaden?* (p. 2). Recuperado de [https://www.biomess.de/fileadmin/user\\_upload/Heizen\\_\\_L\\_ften\\_\\_Feuchtigkeit\\_in\\_Wohnungen.pdf](https://www.biomess.de/fileadmin/user_upload/Heizen__L_ften__Feuchtigkeit_in_Wohnungen.pdf)
- Blasbichler. (2016). Blasbichler. Recuperado de <http://blasbichler.com/waermepumpen/>
- BMU. (2007). *EEG – THE RENEWABLE ENERGY SOURCES ACT*. Recuperado de [http://www.folkecenter.eu/FC\\_old/www.folkecenter.dk/mediafiles/folkecenter/pdf/eeg\\_success\\_brochure\\_engl.pdf](http://www.folkecenter.eu/FC_old/www.folkecenter.dk/mediafiles/folkecenter/pdf/eeg_success_brochure_engl.pdf)
- BMUB. (2018). *Wege zum Effizienzhaus Plus* (p. 5). Recuperado de Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit website: [https://docreader.readspeaker.com/docreader/?jsmode=1&cid=btste&lang=de\\_de&url=https%3A%2F%2Fwww.bmi.bund.de%2FSharedDocs%2Fdownloads%2FDE%2Fpublikationen%2Fthemen%2Fbauen%2Fenergieeffizienzhaus-plus.pdf%3Bjsessionid%3D148C4B5AB9504FCE062AC3E5708550B6.2\\_cid295%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26amp%3Bv%3D1&referer=https%3A%2F%2Fwww.bmi.bund.de%2FSharedDocs%2Fdownloads%2FDE%2Fpublikationen%2Fthemen%2Fbauen%2Fenergieeffizienzhaus-plus.html&v=](https://docreader.readspeaker.com/docreader/?jsmode=1&cid=btste&lang=de_de&url=https%3A%2F%2Fwww.bmi.bund.de%2FSharedDocs%2Fdownloads%2FDE%2Fpublikationen%2Fthemen%2Fbauen%2Fenergieeffizienzhaus-plus.pdf%3Bjsessionid%3D148C4B5AB9504FCE062AC3E5708550B6.2_cid295%3F__blob%3DpublicationFile%26amp%3Bv%3D1&referer=https%3A%2F%2Fwww.bmi.bund.de%2FSharedDocs%2Fdownloads%2FDE%2Fpublikationen%2Fthemen%2Fbauen%2Fenergieeffizienzhaus-plus.html&v=)
- Breidhardt, A. (2011, mayo 30). German government wants nuclear exit by 2022 at latest. *Reuters*. Recuperado de <https://uk.reuters.com/article/us-germany-nuclear/german-government-wants-nuclear-exit-by-2022-at-latest-idUKTRE74Q2P120110530>
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. (2018). *Wege zum Effizienzhaus Plus* (6.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de [https://www.forschungsinitiative.de/fileadmin/user\\_upload/publikationen/Downloads/Band\\_06\\_Wege\\_zum\\_EHP/BMI\\_EffizienzH\\_II\\_de\\_barrierefrei\\_Auflage2018.pdf](https://www.forschungsinitiative.de/fileadmin/user_upload/publikationen/Downloads/Band_06_Wege_zum_EHP/BMI_EffizienzH_II_de_barrierefrei_Auflage2018.pdf)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. (2018). *Heizspiegel für Deutschland 2018* (p. 2). Recuperado de

- [https://www.heizspiegel.de/fileadmin/hs/heizspiegel\\_2018/Heizspiegel-fuer-Deutschland-2018.pdf](https://www.heizspiegel.de/fileadmin/hs/heizspiegel_2018/Heizspiegel-fuer-Deutschland-2018.pdf)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2018). *EEG-Reform*. Recuperado de [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/EEG\\_Reform/eeg\\_reform.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/EEG_Reform/eeg_reform.html)
- Cadena Á. et al. (2012, septiembre 20). *Estimación curva de abatimiento de gases efecto invernadero sector vivienda urbana*.
- Camacol. (2017a). *Base Camacol*. Antioquia: Camacol.
- Camacol. (2017b, marzo). En Colombia, 470 millones de metros cuadrados de edificaciones se han hecho realidad durante seis décadas. Recuperado de <https://camacol.co/prensa/noticias/470-millones-de-metros-cuadrados-de-edificaciones-se-han-construido-durante-seis>
- Carbon Trust. (2015). *Análisis Económico y Evaluación Costo Beneficio de los Mecanismos, Herramientas y Estrategias para la Promoción de FNCER en Colombia*.
- Carlos García. (2014, octubre). *Tendencias a largo plazo del sector energía en Colombia*. Presentado en Energy Tr3lemma Summit-WEC, Cartagena.
- CELSIA. (2018, noviembre 9). El costo de las instalaciones y paneles solares en Colombia. Recuperado de <https://blog.celsia.com/costo-de-paneles-solares-en-colombia>
- Climate-Data. (2018). Climate-Data.org. Recuperado de <https://es.climate-data.org/>
- Codensa. (2015). Codensa Movilidad Eléctrica. Recuperado de <http://www.codensamovilidadelectronica.com/productos-y-servicios/Calculadora>
- Comisión Europea. (2018). Photovoltaic Geographical Information System. Recuperado de [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
- Comisión Reguladora de Energía y Gas. *Resolución 030 de 2018*. , Pub. L. No. 030 de 2018, 16 (2018).
- Concreto. (2018). *Contree Las Palmas*.
- Congreso de la República de Colombia. (2001). *Ley 697 de 2001*. Recuperado de [http://www2.igac.gov.co/igac\\_web/normograma\\_files/LEY6972001.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/LEY6972001.pdf)
- Coordinadora. (2019). Cotizar envío. Recuperado de <https://www.coordinadora.com/portafolio-de-servicios/servicios-en-linea/cotizar-envio/>
- Deutsche Emissionshandelsstelle. (2018). *Understanding emissions trading*. Recuperado de <https://www.dehst.de/EN/understanding-emissions-trading/basics/basics-node.html>
- DIN. *DIN 1946-6*. , (2018).
- Director General de la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. *Resolución 281 de 2015*. , (2015).
- Ecofys. (2012). *Towards nearly zero-energy buildings*.
- EGS-Plan. (2014). *Energiebilanzierung*. EGS-Plan.
- EGS-Plan. (2017). *Aktivplus Ausweis Speicherstrasse*.
- EGS-Plan. (2018). *Aktiv-Stadthaus Broschüre* (p. 3).
- EGS-Plan. (2019). *Flexibles Laden E-Mobilität*. EGS-Plan.
- Energie Experten. (2017, mayo 12). Sind Wärmepumpen ein Legionellen-Risiko? Recuperado de <https://www.energie-experten.org/experte/meldung-anzeigen/news/sind-waermepumpen-ein-legionellen-risiko-4706.html>
- Energie-Experten. (2016). *Stromverbrauch von Durchlauferhitzern*. Recuperado de [https://www.energie-experten.org/uploads/media/Stromverbrauch\\_Durchlauferhitzer.pdf](https://www.energie-experten.org/uploads/media/Stromverbrauch_Durchlauferhitzer.pdf)
- Energiezukunft. (2017). Deutschland droht Energiewende-Ziel 2020 zu verfehlen. Recuperado 12 de abril de 2018, de <https://www.energiezukunft.eu/umweltschutz/deutschland-droht-energiewende-ziel-2020-zu-verfehlen/>
- Energysinc. (2017a). *Energy Demand Situation in Colombia* (p. 39).
- Energysinc. (2017b). *Energy Demand Situation in Colombia* (p. 49).
- energysinc. (2017). *Energy Supply Situation in Colombia*.
- EPM. (2018a). EPM. Recuperado de <https://www.epm.com.co/site/home/centro-de-documentos/clientes-y-usuarios/energia/tarifas-de-energia>
- EPM. (2018b). *Instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos* (p. 5).
- EPM. (2019). *TARIFAS PARA SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y AGUAS RESIDUALES*. Recuperado de [https://www.epm.com.co/site/Portals/2/Tarifas\\_Aguas/2019/04%20Tarifas\\_Aguas\\_Fact\\_ABRIL\\_2019.pdf?ver=2019-03-28-102624-813](https://www.epm.com.co/site/Portals/2/Tarifas_Aguas/2019/04%20Tarifas_Aguas_Fact_ABRIL_2019.pdf?ver=2019-03-28-102624-813)

- European Commission. (2006, junio 30). CORDIS. Recuperado de <https://cordis.europa.eu/project/rcn/67931/results/en>
- Evans, S. (2016, septiembre 21). CarbonBrief. Recuperado 12 de abril de 2018, de <https://www.carbonbrief.org/timeline-past-present-future-germany-energiewende>
- Expertos en Mercados (XM). (2016). *Informe de Operación del SIN y Administración del Mercado 2016*.
- Expertos en Mercados (XM). (2018). *Indicadores Oferta Sistema Interconectado Nacional*. Recuperado de <https://www.xm.com.co/Paginas/Indicadores/Oferta/Indicador-capacidad-sin.aspx>
- FECOC. (2016). *Calculadora de Emisiones*. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Calculadora\\_Emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html)
- Freightos. (2017). Freightos. Recuperado de <https://www.freightos.com/freight-resources/freight-rate-calculator-free-tool/>
- Frenzel, I., Jarass, J., Tromer, S., & Lenz, B. (2015). *Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland* (p. 49). Recuperado de [https://elib.dlr.de/96491/1/Ergebnisbericht\\_E-Nutzer\\_2015.pdf](https://elib.dlr.de/96491/1/Ergebnisbericht_E-Nutzer_2015.pdf)
- Germany Trade and Invest. (2018, abril). *Construction and green building in Germany*.
- Glew Engineering. (2017). Glew. Recuperado de <https://glewengineering.com/window-energy-efficiency-solar-heat-gain-and-visible-transmittance/>
- González, O. (1998). *Metodología para el Calculo del Confort Climático en Colombia* (p. 25). Recuperado de IDEAM website: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/007574/Methodologiakonfort.pdf>
- Grondzik, W. T., Kwok, A. G., & Stein, B. (2009). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings* (11.<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Hegger, M., Fafflok, C., Hegger, J., & Passig, I. (2013). *Aktivhaus – Das Grundlagenwerk – Vom Passivhaus zum Energieplushaus*. München: Callwey.
- ICEX. (2016). *La transición energética en Alemania*.
- IDEAM. (2012). *Promedios Climatológicos 1981 - 2010*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- IEA. (2018). *Snapshot of global photovoltaic markets*. Recuperado de [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf)
- Insteading. (2014). How Energy Efficient is Induction Cooking? Recuperado de <https://insteading.com/blog/energy-efficient-induction-cooking/>
- Institut der deutschen Wirtschaft. (s. f.). Deutschland in Zahlen. Recuperado de <https://www.deutschlandinzahlen.de/tab/deutschland/infrastruktur/gebaeude-und-wohnen/wohnflaeche-je-einwohner>
- Institut Wohnen und Umwelt. (2012). *Lüftung im Wohngebäude* (p. 4). Recuperado de <https://www.energiesparaktion.de/downloads/Downloadbereich/energiesparinfo/esp8.pdf>
- International Energy Agencia, IEA. (2018). *Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2016* (p. 11). Recuperado de [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2016\\_\\_1\\_.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf)
- IRENA. (2018a). *Renewable Power Generation Costs in 2017* (p. 40). Recuperado de International Renewable Energy Agency website: [http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018.pdf](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf)
- IRENA. (2018b). *Renewables Costs*. Recuperado de <http://www.irena.org/costs>
- KfW. (2018). Energieeffizient Bauen. Recuperado 12 de abril de 2018, de [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-\(153\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-(153)/)
- Kleist, Dipl.-Ing. T. (2018). *Energy efficient and Green Buildings in Germany*. Recuperado de [https://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur\\_dateien/gbg\\_dateien/Rehva/01\\_Energy\\_efficient\\_and\\_sustainable\\_buildings\\_in\\_Germany\\_Thomas\\_Kleist.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gbg_dateien/Rehva/01_Energy_efficient_and_sustainable_buildings_in_Germany_Thomas_Kleist.pdf)
- Krey, V., & Masera, O. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change: Annex II*. Recuperado de Cambridge University website:  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_annex-ii.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf)
- Liftmaster. (2019). Liftmaster. Recuperado de <https://www.liftmaster.com/for-homeowners/gate-openers>
- Mardaljevic, J. (2012, noviembre 14). Climate-Based Daylight Modelling. Recuperado de <http://climate-based-daylighting.com/doku.php?id=academic:daylight-compliance>
- Mark A. Delucchi, & Jacobson, M. Z. (2010). *Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies*. 39, 1170-1190.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *El Acuerdo de París: Así actuará Colombia frente al cambio climático*. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia\\_hacia\\_la\\_COP21/el\\_acuerdo\\_de\\_paris\\_frente\\_a\\_cambio\\_climatico.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 1988 de 2017*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3e-res%201988%20de%202017.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Recuperado de [https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540\\_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6)
- Ministerio de Minas y Energía. (2016a). *Plan de Acción Indivativo de Eficiencia Energética 2017 - 2022* (p. 134).
- Ministerio de Minas y Energía. (2016b). *Plan de Acción Indivativo de Eficiencia Energética 2017 - 2022* (p. 39).
- Ministerio de Vivienda. (2014). *Plan de acción sectorial de mitigación para el sector vivienda y desarrollo territorial*. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes\\_sectoriales\\_de\\_mitigaci%C3%B3n/PAS\\_Vivienda\\_y\\_Dllo\\_Terr\\_-\\_Final.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes_sectoriales_de_mitigaci%C3%B3n/PAS_Vivienda_y_Dllo_Terr_-_Final.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*.
- Modernus. (2018). *Photovoltaik Einspeisevergütung 2012 - 2018*. Recuperado de <https://modernus.de/solar-photovoltaik-anlagen/photovoltaik-foerderung-finanzierung-einspeiseverguetung-2011-2012-kfw-verguetung>
- Morris, C., & Pehnt, M. (2012). *Energy Transition - The German Energiewende*. Recuperado de <https://book.energytransition.org/es>
- Municipio de Sabaneta. (2018). *Encuesta de Percepción de Calidad de Vida* (p. 12).
- NOAO. (2016, agosto 22). *Lighting Levels*. Recuperado de [https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety\\_Activity\\_Poster/LightLevels\\_outdoor+indoor\\_es.pdf](https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf)
- Nusser, T. (2017). *Aktivplus E.V.*
- Office of Indian Energy. (2015). *Levelized Cost of Energy (LCOE)*. Recuperado de <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
- Ospina, G. (2016, octubre 21). *Cocinas deben dejar el gas y volver a los fogones eléctricos*. Recuperado de <https://www.elcolombiano.com/antioquia/las-cocinas-hogarenas-deben-volver-a-los-fogones-electricos-LA5211814>
- Parlamento Europeo, & Consejo de la Unión Europea. *Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo*. , (2010).
- Passive House Institute. (2016, agosto 15). *Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard*.
- Pinterić, M. (2017). *Building Physics*. Springer.
- PV Magazine. (2018). *Module Price Index*. Recuperado de <https://www.pv-magazine.com/features/investors/module-price-index/>
- Ramírez, R. (2018). Así pinta el «megafuturo» energético de Colombia. *Semana*. Recuperado de <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/la-nueva-era-de-las-renovables/articulo/el-megafuturo-energetico-de-colombia/564842>
- repa Bad. (2018). *Wie Funktioniert ein Dampfbad?* Recuperado de <https://www.repabad.com/dampfbadfaq.html>

- Sedlak, M. (2018). Verbrauch und Reichweite von Elektroautos. Recuperado de <https://sedl.at/Elektroauto/Verbrauch>
- Semana. (2017). *¿Por qué no avanzan los proyectos de eficiencia energética en Colombia?* Recuperado de <https://sostenibilidad.semana.com/actualidad/articulo/eficiencia-energetica-en-colombia-por-que-no-avanzan-los-proyectos-en-el-pais/39122>
- Strompreise. (2019). Strompreise. Recuperado de <https://www.strompreise.de/strompreis-kwh/>
- Stromspiegel. (2016). Stromverbrauch im Haushalt: Durchschnitt & Einspartipps. Recuperado de <https://www.stromspiegel.de/stromkosten/stromverbrauch-im-haushalt/>
- TCC. (2019). TCC. Recuperado de <https://www.tcc.com.co/logistica/servicios-on-line/cotizar-envio/>
- The Water Project. (2018). *Two Types of Water Scarcity*. Recuperado de [https://thewaterproject.org/water-scarcity/water\\_scarcity\\_2](https://thewaterproject.org/water-scarcity/water_scarcity_2)
- Tractor Supply Co. (2019). Tractor Supply Co. Recuperado de <https://www.tractorsupply.com/tsc/catalog/gates-gate-openers>
- Transmetano. (2016). *Informe del sector gas natural en Antioquia* (p. 60). Recuperado de [http://www.transmetano.co/Es/Noticias/Documents/Informes/Informe%20del%20Sector%20Gas%20Natural%20en%20Antioquia\\_Cifras2016.pdf](http://www.transmetano.co/Es/Noticias/Documents/Informes/Informe%20del%20Sector%20Gas%20Natural%20en%20Antioquia_Cifras2016.pdf)
- Tukker et al. (2013). EXIOPOL - Development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT. *Economic Systems Research*, 25, 50-70.
- Umwelt Bundesamt. (2016). Energieverbrauch privater Haushalte. Recuperado de <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte>
- Umwelt Bundesamt. (2018). *Primärenergieverbrauch*. Recuperado de <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#textpart-1>
- UPME. (2015a). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050* (p. 35).
- UPME. (2015b). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050* (p. 33).
- UPME. (2015c). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050* (p. 148).
- UPME. (2015d). *Presentación Plan Energético Nacional Colombia*.
- UPME. (2017a). *Balance energético colombiano*. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx>
- UPME. (2017b). *Plan de expansión de referencia Generación-Transmisión 2017-2031*.
- UPME. *Resolución 804 de 2017*. , (2017).
- Viessmann. (2011). *Planungshandbuch Wärmepumpen*.
- Viessmann. (2015). *Planungsunterlagen für Hybridgeräte und Wärmepumpen* (Vol. 5).
- Wegatech. (2017). Die CO2-Bilanz von Photovoltaik. Recuperado de Wegatech website: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundlagen/co2-bilanz-photovoltaik/>
- Wilson, A. (2009, abril 28). Efficient Cooking. Recuperado de <https://www.greenbuildingadvisor.com/article/efficient-cooking>
- World Bank Group. (2018). Global Solar Atlas. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/?c=4.565474,33.222656,2>
- World Freight Rates. (2013). Freight Calculator. Recuperado de <https://worldfreightrates.com/freight>
- Zambrano, D. (2018, septiembre 27). Movilidad eléctrica en Medellín: muchas estaciones, pocos carros. *El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/estaciones-de-carga-para-vehiculos-electricos-en-medellin-LH9393085>
- Zumtobel Lighting. (2016). *Licht-Handbuch für den Praktiker* (1.<sup>a</sup> ed.). Dornbirn, Austria.

