



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

# **RECONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LAS VIVIENDAS DE LA REGIÓN METROPOLITANA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**IGNACIO JAVIER MERCADO GUTIÉRREZ**

**PROFESOR GUÍA:**

**GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**

**ESTEBAN RUEDLINGER STANDEN**

**DAVID CAMPUSANO BROWN**

**SANTIAGO DE CHILE**

**2016**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil

**POR:** Ignacio Javier Mercado Gutiérrez

**FECHA:** 22/03/2016

**PROFESOR GUÍA:** Gabriel Rodríguez Jaque

**REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LAS VIVIENDAS DE SANTIAGO A  
TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES**

Debido al aumento de la población de la Región Metropolitana, las áreas verdes y zonas agrícolas cercanas a la capital prácticamente han desaparecido, dando paso a zonas habitacionales. Esto genera graves problemas como contaminación ambiental, efecto de isla de calor, deforestación, etc. los cuales se podrían solucionar, en parte, con la incorporación de techos o cubiertas vegetales, los que además, tienen buenas propiedades térmicas, purifican el aire, mejoran el paisaje, promueven el contacto con la naturaleza, fomenta el cultivo de plantas, etc.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el ahorro energético y económico que existe a nivel de país producto de la implementación de cubiertas vegetales en el parque de viviendas de la Región Metropolitana actual y futuro, además de aportar conocimiento en esta nueva área que se ha ido desarrollando en otros países.

Para lograr esto, se realizaron proyecciones del número de viviendas con datos del Instituto Nacional de Estadísticas y se utilizaron 8 tipologías de viviendas distintas definidas por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, las cuales en función del año en las que fueron construidas, fueron caracterizadas con una cierta envolvente térmica.

Utilizando el software DesignBuilder, se modelaron las distintas viviendas y se pudo incluir el efecto de la capa de vegetación, lo cual se traduce en un ahorro energético tanto para calefacción como para refrigeración en el 100% de las viviendas analizadas. Por medio de distintos escenarios de implementación de las cubiertas vegetales, se pudo concluir que si las nuevas construcciones ya vienen con esta tecnología y que las construcciones ya existentes la implementan en un periodo menor a 20 años, la inversión se recupera antes del horizonte de evaluación, el año 2050.

Algunos países como Alemania, Canadá o Francia promueven continuamente el desarrollo de esta tecnología. En el caso de este último, recientemente aprobó una ley que obliga a los edificios comerciales a estar cubiertos en su terraza parcial o totalmente por vegetación o paneles solares. Esto hace creer que Chile también puede hacer algo al respecto, ya sea pensando en los habitantes actuales o en las generaciones futuras.

*A mis padres, no sé lo que haría sin  
ustedes...*

*À ma petite amie Coraline, mi compañera de  
sueños y de vida...*

*A las próximas generaciones, por favor, no  
cometan los mismos errores que  
nosotros....*

## AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, agradezco a mi profesor guía, Gabriel Rodríguez, por estar siempre dispuesto a resolver dudas, a dar ideas nuevas y por su constante apoyo. A mi profesor Co-guía, Esteban Ruedlinger, por ayudarme con todos los problemas logísticos y técnicos que tuve en algunos momentos. Gracias a la profesora María Ofelia Moroni por ser una de las primeras en guiarme en este trabajo y por su compromiso en la primera parte de éste.

Agradezco a Diego Escalona por ayudarme a usar el software de modelación y por responder todas las dudas que me iban surgiendo en el camino. Gracias a María de la Luz Barros por hacer el presupuesto de las cubiertas vegetales. Muchas gracias a Michel Canales por facilitarme bibliografía, por guiarme en algunos puntos y por tener siempre una muy buena voluntad conmigo.

Agradezco a todos mis amigos del colegio y a los de la vida. Agradezco a mis amigos de la universidad, en especial a Enzo Aguilera y a Vicente Lavielle, por siempre darse el tiempo de compartir momentos agradables en esta etapa de mi vida.

Muchas gracias a mi polola Coraline. Me has dado fuerzas para terminar este trabajo incluso desde antes que lo comenzara. Me has ayudado en los momentos más difíciles y he sentido tu apoyo incondicional desde el principio. Gracias por hacerme tan feliz día a día.

Finalmente, muchas gracias a mi familia, que me han dado las herramientas y las oportunidades para poder enfrentar la vida. Me han enseñado a perseguir mis sueños y sé que siempre podré contar con ustedes para todo lo que necesite.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1.    Objetivo general .....	2
1.2.    Objetivos específicos .....	2
<b>CAPITULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>3</b>
2.1.    Cubiertas vegetales. ....	3
2.2.    Componentes de los techos vegetales .....	5
2.2.1.    Componentes obligatorios.....	5
2.2.2.    Componentes opcionales.....	7
2.3.    Clasificación .....	9
2.4.    Transferencia de calor .....	12
2.5.    Conductividad térmica ( $\lambda$ ).....	13
2.6.    Confort térmico.....	15
2.7.    Resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U) .....	17
<b>CAPITULO 3: BENEFICIOS DE LAS CUBIERTAS VEGETALES .....</b>	<b>21</b>
3.1.    Beneficios públicos .....	21
3.1.1.    Reducción del efecto de isla de calor.....	22
3.1.2.    Mejoras en la calidad del aire .....	23
3.1.3.    Mejoras en la gestión de las aguas lluvias .....	24
3.1.4.    Aumento de las áreas verdes .....	25
3.1.5.    Conservación de la biodiversidad.....	26
3.2.    Beneficios privados .....	26
3.2.1.    Aumento de la aislación térmica y eficiencia energética.....	27
3.2.2.    Mayor vida útil de las cubiertas .....	28
3.2.3.    Mayor aislación acústica .....	28
3.2.4.    Fortalecimiento de imagen y comercialización.....	30
3.2.5.    Otros.....	31
<b>CAPÍTULO 4: PARQUE DE VIVIENDAS DE SANTIAGO PARA EL AÑO 2050..</b>	<b>32</b>
4.1.    Parque de viviendas actual y proyección para el año 2050 .....	33
4.1.1.    Cantidad actual de habitantes y proyección para el año 2050 .....	33
4.1.2.    Cantidad de habitantes por vivienda .....	34
4.1.3.    Relación casas/departamentos del parque de viviendas.....	37

<b>CAPÍTULO 5: TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS .....</b>	<b>42</b>
5.1.    Definición de las tipologías de las viviendas .....	43
5.1.1.    Casas aisladas .....	43
5.1.2.    Casas pareadas .....	43
5.1.3.    Casas en línea o adosadas .....	44
5.1.4.    Viviendas en altura o departamentos .....	45
5.2.    Año de construcción de las viviendas .....	46
5.3.    Cantidad de viviendas por tipologías .....	47
<b>CAPÍTULO 6: MODELACIÓN EN EL SOFTWARE DESIGNBUILDER .....</b>	<b>52</b>
6.1.    Explicaciones generales de los modelos .....	53
6.2.    Ubicación de los modelos .....	54
6.3.    Pestaña de actividad .....	54
6.4.    Pestañas de aberturas, iluminación y HVAC (Heating, ventilating and air conditioning) .....	56
6.5.    Pestaña de cerramientos .....	56
6.6.    Modelación del techo vegetal .....	56
6.7.    Resultados de la modelación .....	58
6.7.1.    Consumo energético para calefacción y refrigeración .....	58
<b>CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y BALANCE ECONÓMICO .....</b>	<b>63</b>
7.1.    Análisis de resultados .....	64
7.1.1.    Variación del consumo energético por tipología .....	64
7.1.2.    Flujos de calor a través de los elementos de la envolvente .....	66
7.1.3.    Demanda energética .....	66
7.2.    Balance económico .....	69
7.2.1.    Distribución del uso de combustibles .....	69
7.2.2.    Proyección del precio de los combustibles .....	71
7.2.3.    Precio de instalación de las cubiertas vegetales .....	72
7.2.4.    Balance económico de la implementación de cubiertas vegetales .....	73
7.3.    Bases de una futura legislación para implementar cubiertas vegetales en las construcciones .....	76
7.3.1.    Materiales de las cubiertas vegetales .....	76
7.3.2.    Plazo de implementación de las cubiertas vegetales .....	77
7.3.3.    Deducción de impuestos y subsidios .....	77
7.3.4.    Educación, entrega de información y fomento del uso de las cubiertas vegetales .....	77
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>80</b>
<b>ANEXO A (Dimensiones)</b> .....	<b>83</b>
A.1. Tipología 1 .....	83
A.2. Tipología 2 .....	85
A.3. Tipología 3 .....	87
A.4. Tipología 4 .....	89
A.5. Tipología 5 .....	91
A.6. Tipología 6 .....	93
A.7. Tipología 7 .....	95
A.8. Tipología 8 .....	97
<b>Anexo B (Propiedades de las envolventes)</b> .....	<b>99</b>
B.1. Construcciones anteriores al año 2000 .....	99
B.2. Construcciones entre los años 2000 y 2007 .....	100
B.3. Construcciones posteriores al año 2007 .....	102
B.4. Cubierta vegetal .....	103
<b>Anexo C (Resultados)</b> .....	<b>104</b>
C.1. Ganancias y pérdidas térmicas por tipología y año de construcción ..	104
C.2. Gráficos de pérdidas térmicas por elemento de la envolvente .....	112
C.3. Demanda energética .....	116
C.4. Distribución del uso de los combustibles de calefacción .....	118
C.5. Proyección del precio de los combustibles .....	119
C.6. Costos de implementación de las cubiertas vegetales .....	121
C.7. Gasto económico para los distintos escenarios de implementación de las cubiertas vegetales .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Componentes de las cubiertas vegetales. Fuente: CDT [1].	8
Tabla II. Comparación entre los tipos de cubiertas vegetales. Fuente: CDT [1].	11
Tabla III. Conductividad térmica de los elementos típicos de construcción. Fuente: [2].	13
Tabla IV. Sensación térmica de un ambiente según temperatura, humedad y velocidad del aire. Fuente: [30].	16
Tabla V. Resistencias térmicas superficiales. Fuente: [2].	19
Tabla VI. Resistencia térmica de la cámara de aire. Fuente: [2].	19
Tabla VII. Proyección de habitantes de la RM hasta el año 2050. Fuente: elaboración propia en base a datos del INE [16], [17].	33
Tabla VIII. Tasa de crecimiento anual. Fuente: elaboración propia en base a los datos del INE [16], [17].	34
Tabla IX. Tasa de crecimiento anual del PIB por año. Fuente: elaboración propia en base a datos del BCC [19].	35
Tabla X. Cantidad de habitantes por vivienda para cada año. Fuente: elaboración propia.	36
Tabla XI. Número de viviendas proyectadas para el año 2050 en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.	36
Tabla XII. Permisos de edificación entregados entre los años 2002-2014. Fuente: elaboración propia en base a datos del INE [21].	37
Tabla XIII. Distribución real de casas y departamentos en la RM para cada año. Fuente: elaboración propia.	38
Tabla XIV. Permisos entregados en el periodo 2002-2014, viviendas construidas y relación casas/departamentos en la Región Metropolitana.	39
Tabla XV. Proyección de nuevas casas y departamentos hasta el año 2050 en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.	39
Tabla XVI. Distribución casas/departamentos hasta el año 2050 en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.	40
Tabla XVII. Porcentaje de participación de cada tipología. Fuente: CDT [15].	45
Tabla XVIII. % máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente. Fuente: OGUC [13].	46
Tabla XIX. Transmitancia térmica máxima para cada tipología en función del año de construcción. Fuente: elaboración propia.	46
Tabla XX. Casas y departamentos construidos entre los años 1999 y 2002 y distribución total. Fuente: elaboración propia según datos del INE [20].	47
Tabla XXI. Factor de expansión y porcentaje del total de viviendas de cada tipología para cada año. Fuente: elaboración propia.	48
Tabla XXII. Total de viviendas por tipología para cada año. Fuente: elaboración propia.	49
Tabla XXIII. Número de viviendas construidas por tipología para cada año. Fuente: elaboración propia.	50
Tabla XXIV. Características climáticas de la comuna de Pudahuel. Fuente: ASHRAE [21].	54
Tabla XXV. Datos modificados en la pestaña de actividad.	54
Tabla XXVI. Horarios de ocupación de las viviendas.	55



Tabla XXVII. Variación del consumo energético con respecto al caso base. ....	64
Tabla XXVIII. Variación total del consumo energético con respecto al caso base. .....	64
Tabla XXIX. Ahorro energético por tipología y por año de construcción debido a la implementación de cubiertas vegetales. ....	65
Tabla XXX. Ahorro energético anual por tipología y por año debido a la implementación de cubiertas vegetales. ....	66
Tabla XXXI. Porcentaje de uso de combustible para calefacción. Fuente: [15], [18]. .....	69
Tabla XXXII. Precios de los combustibles al año 2015. Fuente: CDT [15]. ....	71
Tabla XXXIII. Tiempo de recuperación de la inversión de los distintos periodos de implementación evaluados. ....	74
Tabla XXXIV. Dimensiones de la tipología 1. ....	83
Tabla XXXV. Dimensiones de la tipología 2. ....	85
Tabla XXXVI. Dimensiones de la tipología 3. ....	87
Tabla XXXVII. Dimensiones de la tipología 4. ....	89
Tabla XXXVIII. Dimensiones de la tipología 5. ....	91
Tabla XXXIX. Dimensiones de la tipología 6. ....	93
Tabla XL. Dimensiones de la tipología 7. ....	95
Tabla XLI. Dimensiones de la tipología 8. ....	97
Tabla XLII. Materiales de la envolvente, tipologías 1-2-3-4-6. ....	99
Tabla XLIII. Materiales de la envolvente, tipología 5. ....	99
Tabla XLIV. Materiales de la envolvente, tipologías 7-8. ....	100
Tabla XLV. Materiales de la envolvente, tipologías 1-2-3-4-6. ....	100
Tabla XLVI. Materiales de la envolvente, tipología 5. ....	101
Tabla XLVII. Materiales de la envolvente, tipologías 7-8. ....	101
Tabla XLVIII. Materiales de la envolvente, tipologías 1-2-3-4-6. ....	102
Tabla XLIX. Materiales de la envolvente, tipología 5. ....	102
Tabla L. Materiales de la envolvente, tipologías 7-8. ....	103
Tabla LI. Propiedades del sustrato de la cubierta vegetal. ....	103
Tabla LII. Propiedades de la vegetación de la cubierta vegetal. ....	103
Tabla LIII. Resultados anuales tipología 1. ....	104
Tabla LIV. Resultados anuales tipología 2. ....	105
Tabla LV. Resultados anuales tipología 3. ....	106
Tabla LVI. Resultados anuales tipología 4. ....	107
Tabla LVII. Resultados anuales tipología 5. ....	108
Tabla LVIII. Resultados anuales tipología 6. ....	109
Tabla LIX. Resultados anuales tipología 7. ....	110
Tabla LX. Resultados anuales tipología 8. ....	111
Tabla LXI. Consumo energético para tipologías sin cubierta vegetal. ....	116
Tabla LXII. Consumo energético para tipologías con cubierta vegetal. ....	117
Tabla LXIII. Distribución de los combustibles durante el periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia con datos de la CDT [15]. ....	118
Tabla LXIV. Proyección del precio de los combustibles. Fuente: elaboración propia con datos de la CDT [15]. ....	119
Tabla LXV. Proyección del precio de los combustibles. Fuente: elaboración propia con datos de la CDT [15]. ....	120

Tabla LXVI. Costo de instalación de las cubiertas vegetales por año. Fuente: elaboración propia.....	121
Tabla LXVII. Gasto total acumulado para tipologías sin cubierta vegetal. ....	122
Tabla LXVIII. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de un año para implementación).....	123
Tabla LXIX. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de 5 años para implementación). ....	124
Tabla LXX. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de 10 años para implementación). ....	125
Tabla LXXI. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de 20 años para implementación).....	126

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Techo vegetal en Stuttgart, Alemania.....	3
Ilustración 2. Techo vegetal de una casa vikinga. ....	4
Ilustración 3. Capas de una cubierta vegetal. Fuente: CDT [1].....	6
Ilustración 4. Cubierta vegetal de tipo extensiva.....	9
Ilustración 5. Cubierta vegetal de tipo semi-intensiva.....	10
Ilustración 6. Cubierta vegetal de tipo intensiva.....	10
Ilustración 7. Ejemplo de transferencia de calor de un muro, condición de invierno (Ti > Te). Fuente: [4].....	12
Ilustración 8. Variación de la conductividad térmica de la lana de vidrio en función de la densidad. Fuente: Gabriel Rodríguez, curso “Física de la construcción”, 2015.....	14
Ilustración 9. Diagrama de confort higrotérmico. Fuente: Gabriel Rodríguez, curso “Física de la construcción”, 2015.....	15
Ilustración 10. Comparación de la retención de aguas lluvias entre una azotea convencional y una azotea vegetal. Fuente: Gernot Minke [9]. ....	25
Ilustración 11. Ejemplo del aumento de las áreas verdes a través de la implementación de cubiertas vegetales. ....	26
Ilustración 12. Ejemplo del flujo de calor en una vivienda. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente [10]. ....	27
Ilustración 13. Ejemplo de aislación acústica de la envolvente. Fuente: [26].....	29
Ilustración 14. Edificio Consorcio. Fuente: Consorcio.cl .....	30
Ilustración 15. Proyección de habitantes de la RM hasta el año 2050. Fuente: elaboración propia en base a datos del INE [16], [17].....	34
Ilustración 16. Permisos de edificación entregados entre los años 2002-2014. Fuente: elaboración propia.....	38
Ilustración 17. Ejemplo de una casa aislada.....	43
Ilustración 18. Ejemplo de una casa pareada. Nótese la simetría. ....	44
Ilustración 19. Ejemplo de viviendas en línea. ....	44
Ilustración 20. Ejemplo de vivienda en altura o departamento.....	45
Ilustración 21. Horarios de ocupación "residencial". ....	55
Ilustración 22. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 1. ....	58
Ilustración 23. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 2. ....	59
Ilustración 24. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 3. ....	59
Ilustración 25. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 4. ....	60
Ilustración 26. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 5. ....	60
Ilustración 27. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 6. ....	61
Ilustración 28. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 7. ....	61
Ilustración 29. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 8. ....	62
Ilustración 30. Proyección consumo energético tipologías 1, 2 y 3.....	67

Ilustración 31. Proyección consumo energético tipologías 4, 5 y 6.....	67
Ilustración 32. Proyección consumo energético tipologías 7 y 8.....	68
Ilustración 33. Porcentaje de utilización de los distintos combustibles para calefacción. Fuente: elaboración propia.....	70
Ilustración 34. Porcentaje de utilización de los distintos combustibles para calefacción. Fuente: elaboración propia.....	70
Ilustración 35. Gasto económico acumulado de los distintos periodos de implementación de las cubiertas vegetales.....	74
Ilustración 36. Gasto económico acumulado para construcciones posteriores al año 2015.....	75
Ilustración 37. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	83
Ilustración 38. Tipología 1 sin cubierta vegetal.....	84
Ilustración 39. Tipología 1 con cubierta vegetal.....	84
Ilustración 40. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	85
Ilustración 41. Tipología 2 sin cubierta vegetal.....	86
Ilustración 42. Tipología 2 con cubierta vegetal.....	86
Ilustración 43. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	87
Ilustración 44. Tipología 3 sin cubierta vegetal.....	88
Ilustración 45. Tipología 3 con cubierta vegetal.....	88
Ilustración 46. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	89
Ilustración 47. Tipología 4 sin cubierta vegetal.....	90
Ilustración 48. Tipología 4 con cubierta vegetal.....	90
Ilustración 49. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	91
Ilustración 50. Tipología 5 sin cubierta vegetal.....	92
Ilustración 51. Tipología 5 con cubierta vegetal.....	92
Ilustración 52. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	93
Ilustración 53. Tipología 6 sin cubierta vegetal.....	94
Ilustración 54. Tipología 6 con cubierta vegetal.....	94
Ilustración 55. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	95
Ilustración 56. Tipología sin cubierta vegetal.....	96
Ilustración 57. Tipología 7 con cubierta vegetal.....	96
Ilustración 58. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.....	97
Ilustración 59. Tipología 8 sin cubierta vegetal.....	98
Ilustración 60. Tipología 8 con cubierta vegetal.....	98
Ilustración 61. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 1.....	112
Ilustración 62. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 2.....	112
Ilustración 63. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 3.....	113
Ilustración 64. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 4.....	113
Ilustración 65. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 5.....	114
Ilustración 66. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 6.....	114
Ilustración 67. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 7.....	115
Ilustración 68. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 8.....	115

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Debido al gran aumento de la población en la Región Metropolitana durante las últimas décadas, la zona urbana ha crecido considerablemente, y con esto, las áreas verdes y zonas agrícolas cercanas a la ciudad han ido desapareciendo. La disminución de estas áreas verdes, aparte de tener consecuencias sobre la calidad de vida de las personas (en Santiago existen en promedio 4 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, cuando lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) son 9 m<sup>2</sup> por habitante), trae consigo innumerables problemas, tales como contaminación ambiental (poca transformación de CO<sub>2</sub> en oxígeno y purificación del aire), el efecto de isla de calor (aumenta la temperatura debido al calor absorbido por materiales como el hormigón), deforestación, impactos negativos en la biodiversidad del ecosistema, etc.

Una alternativa constructiva que podría solucionar varios de estos problemas, es la utilización de techos verdes o cubiertas vegetales, las cuales, además de ser un elemento estético, posee varias características positivas en la aislación térmica, particularmente, en la época de verano. Este tipo de techos son ampliamente utilizados en viviendas sustentables, ya que son amigables con el medio ambiente, crean un espacio más saludable para las personas y tiene propiedades físicas que contribuyen a satisfacer el confort humano. Este confort humano depende de varios factores, en donde los principales son la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura.

Mantener la temperatura artificialmente dentro de la zona de confort puede generar grandes gastos de energía durante el verano (aire acondicionado) y durante el invierno (calefacción). Sin embargo, utilizar techos o cubiertas vegetales puede generar un ahorro energético considerable, esto debido a las buenas propiedades aislantes que posee esta tecnología.

Recientemente en Francia se aprobó una ley que obliga a las nuevas construcciones comerciales de París a cubrir total o parcialmente sus terrazas con techos verdes o paneles solares. Esto hace creer que en Chile también es posible tomar ese tipo de medidas, ya sea pensando en los habitantes actuales o en las futuras generaciones.

Por estos motivos, la presente memoria busca verificar los ahorros energéticos producto de la implementación de cubiertas vegetales en la Región Metropolitana debido a las propiedades aislantes y térmicas que poseen. Además, se explican los variados efectos positivos que tienen las áreas verdes sobre la calidad de vida de las personas y se publican las bases para que en una futura legislación se incentive a las nuevas construcciones habitacionales a implementar esta tecnología y, así, en cierto modo, disminuir el daño que se le está haciendo actualmente al medio ambiente.

## **1.1. Objetivo general**

- Determinar los efectos en la aislación térmica producto de usar techos vegetales.

## **1.2. Objetivos específicos**

- Calcular la pérdida de calor a través de las techumbres que se ocupan hoy en día en las viviendas de la Región Metropolitana.
- Calcular la pérdida de calor a través de los techos vegetales o techos verdes de las viviendas de la Región Metropolitana.
- Estimar el ahorro energético que significaría la implementación de techos vegetales como aislación térmica en las viviendas de la Región Metropolitana.
- Proponer las bases de una legislación para que en el futuro se implementen cubiertas vegetales en las viviendas de la Región Metropolitana y por extensión, en grandes ciudades chilenas.

## CAPITULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.

### 2.1. Cubiertas vegetales.

Las cubiertas vegetales (llamadas también techos vegetales, techos verdes o azoteas verdes) son principalmente una manta de vegetación que se instala sobre los techos de construcciones nuevas o ya existentes, cubriéndolos parcial o totalmente. Esta tecnología constructiva entrega variados beneficios, tales como aislamiento térmico, impermeabilización, manejo de las aguas lluvias, aumento de la cantidad de áreas verdes, disminución del efecto de isla de calor, captación de material particulado, disminución del consumo de energía, mejoramiento estético, cambio climático de los centros urbanos, mejor aislación acústica, etc. Es una implementación que cumple una función ecológica importante y es amigable con el medio ambiente.



*Ilustración 1. Techo vegetal en Stuttgart, Alemania.*

El país pionero a nivel mundial en el uso de las cubiertas vegetales es Alemania, el cual actualmente posee una superficie mayor a 86 millones [m<sup>2</sup>] de techos verdes, correspondientes al 14% del total de techos construidos. Al menos 48 ciudades germanas proveen financiamiento para la construcción de este tipo de techumbres.

Este país comenzó a utilizar estas cubiertas como las conocemos en la actualidad a comienzos de los años 70, aunque su uso data desde mucho antes y de culturas muy diferentes.

En los antiguos “Zigurats” (templos ubicados en Mesopotamia) ya se incluían jardines en la edificación, aunque estos estaban emplazados dentro de la misma construcción. Los “Jardines colgantes de Babilonia” (construidos en el año 600 a.C.), considerados como una de las siete maravillas del mundo antiguo y los mausoleos de algunos emperadores romanos como Augusto y Adriano, son algunos ejemplos de cubiertas vegetales, aunque estas fueron utilizadas solo con un fin estético.

En algunas construcciones de los vikingos se agregaba turba en las paredes y en los techados para impermeabilizar el interior de la vivienda y evitar fugas de calor. Estos fueron los primeros en aprovechar las propiedades aislantes y térmicas de los techos verdes para su propio beneficio [5].



*Ilustración 2. Techo vegetal de una casa vikinga.*

Algunas ciudades como Toronto en Canadá, Copenhague en Dinamarca, París en Francia y Recife en Brasil poseen leyes que obligan a instalar techos verdes o paneles solares en todas las nuevas edificaciones que posean una superficie mayor a un cierto estándar que varía de país en país. Esto hace suponer que es probable que en el futuro se sigan promoviendo leyes que fomenten este tipo de soluciones constructivas.

Actualmente en Chile, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) ha publicado un documento llamado “Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales” [1]. Este texto entrega pautas y consejos para la elaboración de techos verdes, pero en ningún caso es un documento normativo.



## 2.2. Componentes de los techos vegetales

Los componentes de las cubiertas vegetales dependen de muchos factores, tales como el clima, el presupuesto, el tipo de techo, etc. Sin embargo, existen componentes que son necesarios para asegurar las condiciones básicas del proyecto (protección de la estructura soportante contra la humedad, raíces, etc.) y otros que sirven para facilitar la mantención, otorgar protección adicional o mejorar la efectividad.

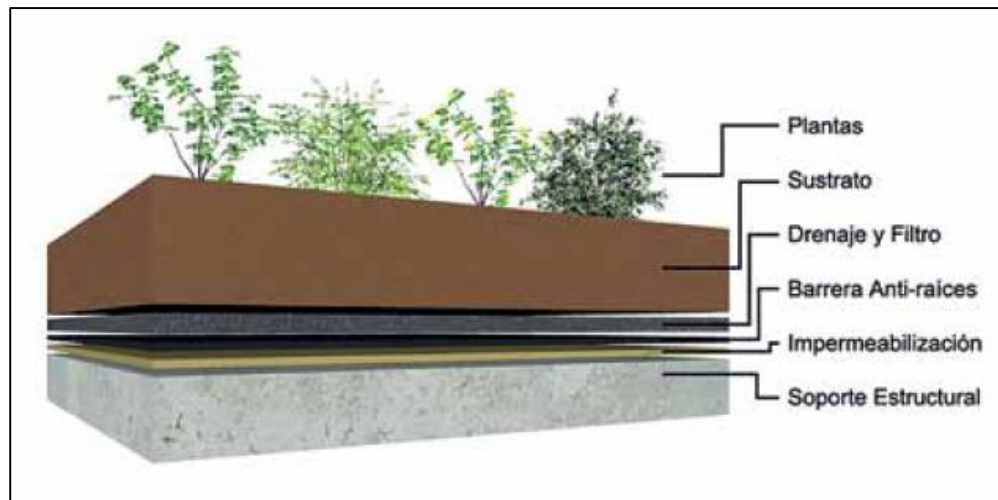
A continuación, se detallan los componentes obligatorios y los componentes opcionales que constituyen los techos vegetales.

### 2.2.1. Componentes obligatorios

- Estructura soportante: La estructura del techo verde debe soportar la sobrecarga aportada por el techo vegetal, la cual debe resistir el peso de la cubierta considerando que ésta se encuentra totalmente saturada de agua y adulta.
- Acceso al techo: Es necesario que las cubiertas vegetales tengan algún sistema para poder acceder fácilmente a ellas y así, realizar mantenciones, cuidar la vegetación, cosechar los vegetales si es el caso, etc.
- Capa de impermeabilización: Esta capa es la responsable de mantener la estructura soportante seca y libre de filtraciones de agua. Al ser la primera capa, es de gran importancia ya que su incorrecta instalación puede provocar problemas de filtración y generar grandes costos en reparaciones futuras. Los materiales más utilizados son membranas de caucho de etileno propileno dieno (EPDM), membranas de poliolefina termoplástica (TPO), membranas solidificadas de poliuretano líquido, láminas de PVC, entre otras.
- Barrera anti-raíces: Es la capa protectora que previene que las raíces de la vegetación dañen el sistema de impermeabilización y la estructura soportante. Actúa como una barrera mecánica y en algunos casos también actúa como una barrera química. Las más utilizadas están fabricadas con un geotextil de polietileno de alta densidad (HDPE).
- Capa drenante y de retención: Encargadas de mantener una humedad adecuada en el sustrato evitando la sobresaturación y la falta de agua. La falla de estas capas puede provocar el crecimiento de hongos, disminución de la vida útil de las capas inferiores, deterioro de la vegetación, etc.
- Filtro: Material liviano a prueba de putrefacción que impide que las partículas del sustrato se escurran hacia las capas inferiores, evitando la

obstrucción del sistema de drenaje y retención de líquidos que se encuentra debajo. Además, evita la lixiviación del sustrato, previniendo que se pierdan las propiedades de éste y promoviendo el crecimiento de la vegetación. Se recomienda utilizar un filtro sobre la capa drenante y de retención y otro por debajo.

- **Sustrato:** Es la capa compuesta de material orgánico e inorgánico que proporciona el soporte a la vegetación (donde se alojan las raíces) y entrega los nutrientes necesarios para el desarrollo de la capa vegetal. Debe ser capaz de evitar el crecimiento excesivo de vegetación pero debe facilitar el crecimiento de las raíces. Su espesor está condicionado por el tipo de flora y por el tipo de cubierta que se desea instalar.
- **Capa de vegetación:** Es la capa superior de las cubiertas y en este lugar se aloja la vegetación. Debe ser capaz de sobrevivir en las condiciones climáticas a las que se someta y debe ser escogida en función de los requerimientos estéticos y físico-constructivos de la edificación. Esta capa determina el espesor y cualidades de las capas inferiores.



*Ilustración 3. Capas de una cubierta vegetal. Fuente: CDT [1].*

## 2.2.2. Componentes opcionales

Estos componentes no son estrictamente necesarios, pero su implementación mejora la efectividad de las cubiertas vegetales, prolongan la vida útil y favorece las condiciones de vida de la vegetación.

- Protección de la impermeabilización: Esta capa se puede utilizar cuando se desea proteger adicionalmente la membrana impermeabilizante durante la construcción de la edificación o de la cubierta vegetal.
- Aislación térmica adicional: Se debe instalar entre la estructura soportante y la capa impermeabilizante o bajo la estructura soportante. Tiene la finalidad de disminuir los flujos de calor desde el exterior al interior o viceversa y así mejorar la envolvente térmica de la edificación.
- Acumulador de agua: Se instala para mejorar la capacidad de retener el agua en la cubierta vegetal. Esta capa es de gran utilidad en lugares con clima seco ya que repone la humedad del medio de crecimiento a través de la evapotranspiración.
- Protección de erosión: Se utiliza para proteger el medio de crecimiento o sustrato cuando éste no es sembrado en un periodo de tiempo largo y cuando las plantas se están estableciendo. Ayuda a evitar la erosión producto del viento en techos muy elevados o cuando las raíces aún no se anclan de forma completa.
- Sistema de riego: Permite el control de agua en el sustrato, facilitando el riego, el crecimiento de la vegetación en la cubierta y el ahorro de agua.
- Caja registrable: Marcos como una caja sin fondo y con tapa que se instalan sobrepuestos en los puntos de desagüe. Permite inspeccionar estos puntos y facilita la tarea de limpieza.
- Retenedores perimetrales: Separan las áreas de vegetación de los elementos estructurales de la cubierta como antepechos, drenajes, tragaluces, senderos, etc.
- Otros sistemas opcionales: Se pueden instalar varios sistemas adicionales como barandillas y pasarelas de tránsito para facilitar el acceso, iluminación para aumentar la estética y dar seguridad si se trabaja de noche, etc.

Tabla I. Componentes de las cubiertas vegetales. Fuente: CDT [1].

<b>Componentes obligatorios</b>	<b>Componentes opcionales</b>
Estructura soportante	Protección de la impermeabilización
Impermeabilización	Aislación térmica
Protección anti-raíz	Acumulador de agua
Drenaje y retención	Protección de erosión
Filtro	Sistema de riego
Sustrato	Retenedores perimetrales
Vegetación	Caja registrable
Acceso al techo	Pasarelas
	Barandillas
	Iluminación

## 2.3. Clasificación

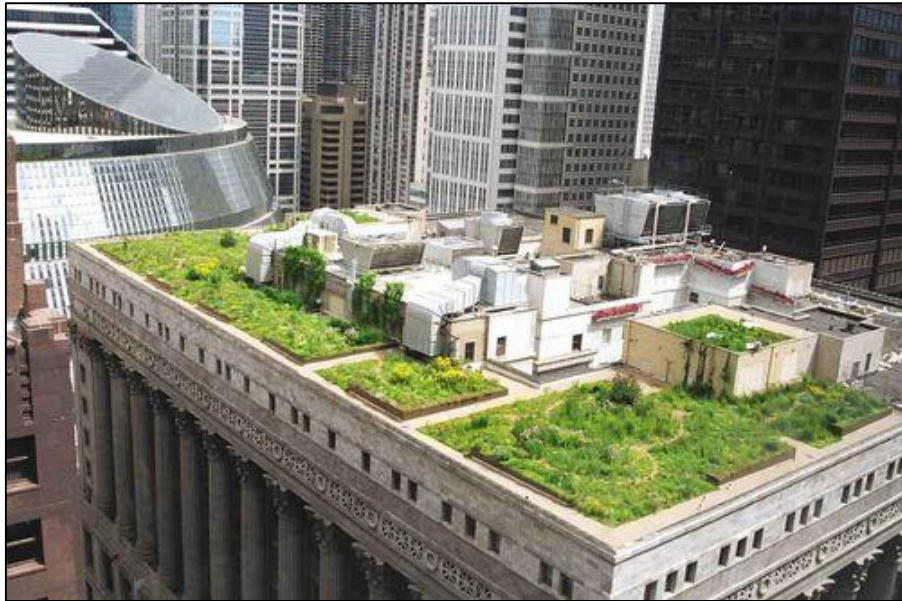
Los techos vegetales se diferencian unos de otros en el espesor del sustrato utilizado, la sobrecarga que aportan a la estructura, la diversidad de vegetación que poseen, la mantención necesaria, etc. A pesar de esto, se pueden clasificar en 3 grupos:

Cubierta vegetal extensiva: Las cubiertas vegetales extensivas no son transitables y poseen una capa de sustrato de hasta 15 [cm] de espesor [1] y una vegetación rastrera (como musgo, césped, flores de pradera, etc.) que tolera de buena manera los climas áridos y semiáridos. Requieren un mantenimiento mínimo y entregan una sobrecarga adicional a la estructura de hasta 170 [kg/m<sup>2</sup>]. Se utilizan principalmente como elemento de drenaje urbano y como capa de protección ecológica.



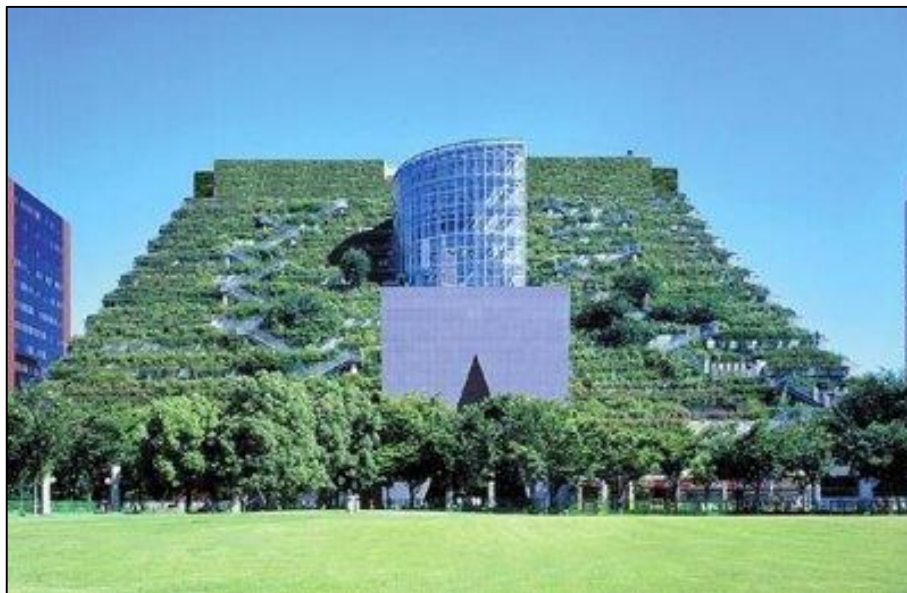
*Ilustración 4. Cubierta vegetal de tipo extensiva.*

Cubierta vegetal semi-intensiva: Las cubiertas vegetales semi-intensivas pueden ser o no ser transitadas. Poseen una capa de sustrato de entre 15 y 20 [cm] de espesor [1] y su vegetación es más variada que la cubierta extensiva. Requieren un mantenimiento variable dependiendo del tipo de vegetación y entregan una sobrecarga adicional a la estructura entre 150 y 250 [kg/m<sup>2</sup>]. Son consideradas como una mezcla entre una cubierta extensiva y una intensiva y se utilizan principalmente como elemento de drenaje urbano, como capa de protección ecológica y uso recreativo.



*Ilustración 5. Cubierta vegetal de tipo semi-intensiva.*

**Cubierta vegetal intensiva:** Las cubiertas vegetales intensivas generalmente son transitables. Poseen una capa de sustrato mayor a 20 [cm] de espesor [1] y su vegetación se compone principalmente de arbustos, plantas florales y hasta de pequeños árboles. Requieren un mantenimiento alto dependiendo del tipo de vegetación y elementos que se utilicen. Además, entregan una sobrecarga adicional a la estructura mayor a 250 [kg/m<sup>2</sup>]. Son consideradas como una mezcla entre una cubierta extensiva y una intensiva. Tienen un uso recreativo, es un elemento paisajístico y sirve como drenaje urbano.



*Ilustración 6. Cubierta vegetal de tipo intensiva.*

Tabla II. Comparación entre los tipos de cubiertas vegetales. Fuente: CDT [1].

<b>Características</b>	<b>Extensivo</b>	<b>Semi-intensivo</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Espesor sustrato</b>	< 15 cm	15-20 cm	> 20 cm
<b>Cobertura vegetal</b>	No Transitable	Según Diseño	Transitable
<b>Peso saturado</b>	50-150 kg/m <sup>2</sup>	150-250 kg/m <sup>2</sup>	>250 kg/m <sup>2</sup>
<b>Diversidad vegetal</b>	Poca	Media	Máxima
<b>Mantenimiento</b>	Mínima	Variable	Alto
<b>Tipo de vegetación</b>	Rastreras, Sedum	Arbustos pequeños y pastos ornamentales	Arbustos y árboles pequeños

## 2.4. Transferencia de calor

La transferencia de calor, o también llamada transmisión de calor, es el traspaso de energía térmica entre diferentes cuerpos (o entre dos partes del mismo) que están a distinta temperatura. El calor siempre fluye desde una región con temperatura más alta hacia otra región con temperatura más baja. La transferencia o dispersión del calor puede ocurrir a través de tres mecanismos posibles, radiación, convección y conducción [28].

La radiación es la transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas, las cuales no necesitan un medio para desplazarse. La convección es la transferencia de calor mediante el movimiento o desplazamiento de partículas en un fluido (gas o líquido principalmente). Finalmente, la conducción es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basados en el contacto directo entre sus partículas.

Para acondicionar térmicamente las viviendas y edificios, lo más fácil y recomendable es intervenir en la transferencia térmica de calor por conducción (modificando el valor de la conductividad térmica o el espesor de los materiales empleados). Adicionalmente, las cubiertas vegetales aportan disminuyendo la transferencia de calor por radiación, ya que una fracción importante del calor recibido es utilizada en los procesos de fotosíntesis y evapotranspiración.

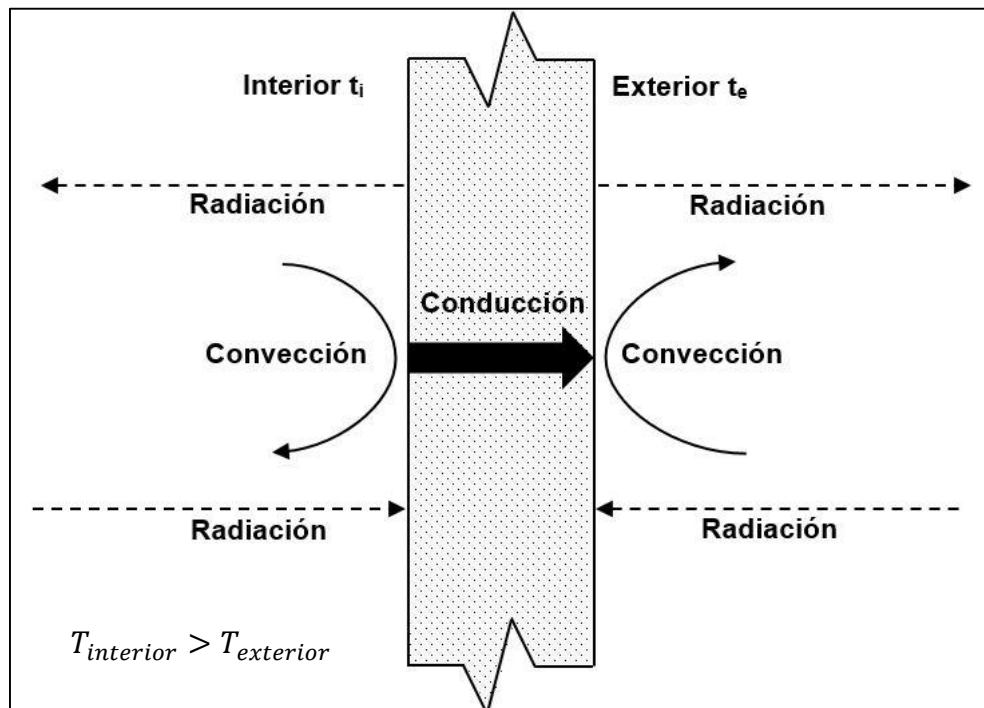


Ilustración 7. Ejemplo de transferencia de calor de un muro, condición de invierno ( $T_i > T_e$ ). Fuente: [4].



## 2.5. Conductividad térmica ( $\lambda$ )

La conductividad térmica ( $\lambda$ ) se define, según la norma chilena NCh853 [2], como la cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor finito, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en W/m-K [2].

En palabras más simples, es una propiedad de los materiales que dice cuán fácil es la conducción de calor a través de ellos. Los materiales que tienen una alta conductividad térmica (como los metálicos) conducen de forma más fácil el calor. Los materiales poco densos tienen baja conductividad térmica y se dice que son aislantes. A modo de ejemplo, en la tabla III, se puede ver la conductividad térmica de diferentes materiales utilizados en la construcción.

Tabla III. Conductividad térmica de los elementos típicos de construcción. Fuente: [2].

Material	Conductividad [W/m-K]
Cobre	380
Aluminio	210
Acero	58
Arena	58
Mármol	3
Hormigón armado	1,6
Estuco Mortero	1,4
Vidrio	1,2
Agua	0,6
Yeso-cartón	0,3
Fibro cemento	0,23
Roble	0,16
Madera aglomerada	0,15
Pino	0,10
Fibras de poliéster	0,06
Poliestireno	0,04
Lana mineral	0,04
Lana de vidrio	0,036
Poliuretano	0,026
Aire quieto	0,024

La conductividad térmica de los materiales varía según muchos parámetros, los cuales se muestran a continuación:

- Temperatura: En general, a medida que aumenta la temperatura, también lo hace su conductividad térmica. Esto se debe a que las moléculas del material aumentan su actividad cuando sube la temperatura, favoreciendo la conducción de calor.
- Densidad: La conductividad de los materiales disminuye a medida que disminuye la densidad. A pesar de esto, existe un límite inferior llamado densidad óptima, el cual si se sobrepasa, la conductividad térmica comienza a aumentar nuevamente. Esto sucede ya que los materiales con baja densidad poseen un tamaño de poros considerable, lo que genera un aumento de la transmisión de calor por convección.

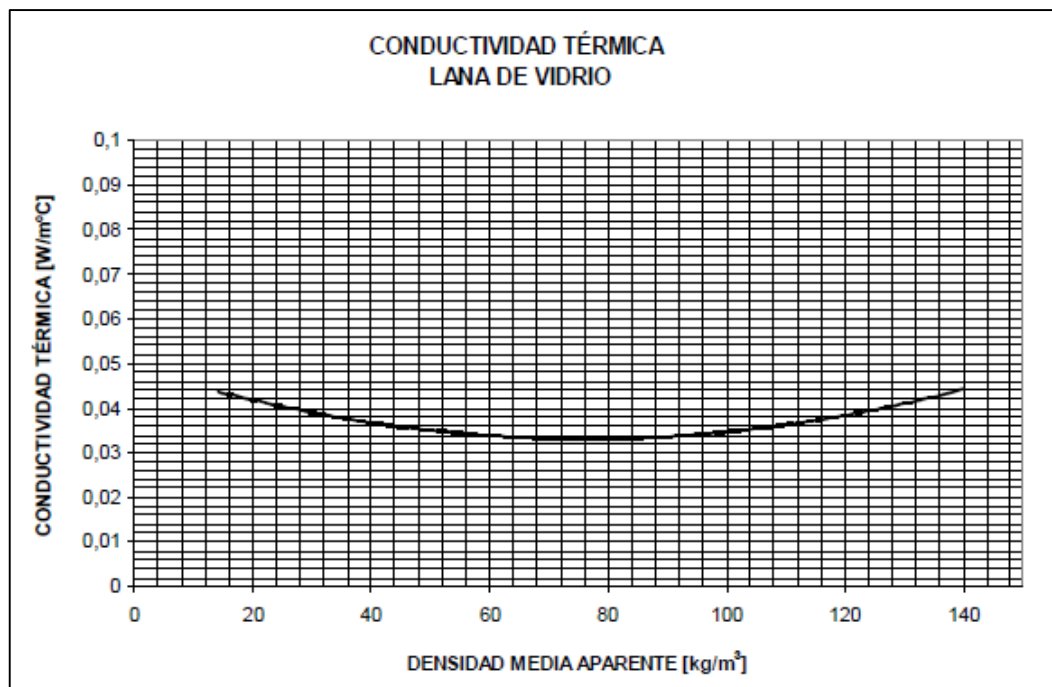


Ilustración 8. Variación de la conductividad térmica de la lana de vidrio en función de la densidad. Fuente: Gabriel Rodríguez, curso "Física de la construcción", 2015.

- Humedad: Producto de que la mayoría de los materiales de construcción poseen una conductividad menor a la del agua (0,6 W/m-k), la humedad hace aumentar el valor de la conductividad térmica. Adicionalmente, el agua llena los poros, lo que provoca un aumento en la densidad del material.

## 2.6. Confort térmico

Se conoce como confort térmico a aquella condición que da la sensación de bienestar, comodidad y satisfacción a los usuarios de una vivienda. El confort térmico depende de diversos factores tales como la temperatura del aire, la temperatura de radiación de los elementos interiores, la humedad del aire y la velocidad de este. Adicionalmente, el confort térmico depende de las condiciones ambientales y del metabolismo de las personas.

Debido a todas las variables involucradas, se ha definido una zona de confort como el intervalo de condiciones dentro de las cuales un alto porcentaje de la población se siente cómoda. En el año 1969, el arquitecto israelí Baruch Givoni publicó un libro [29] en donde se mostraba un diagrama de confort higrotérmico, el cual se presenta en la ilustración 9.

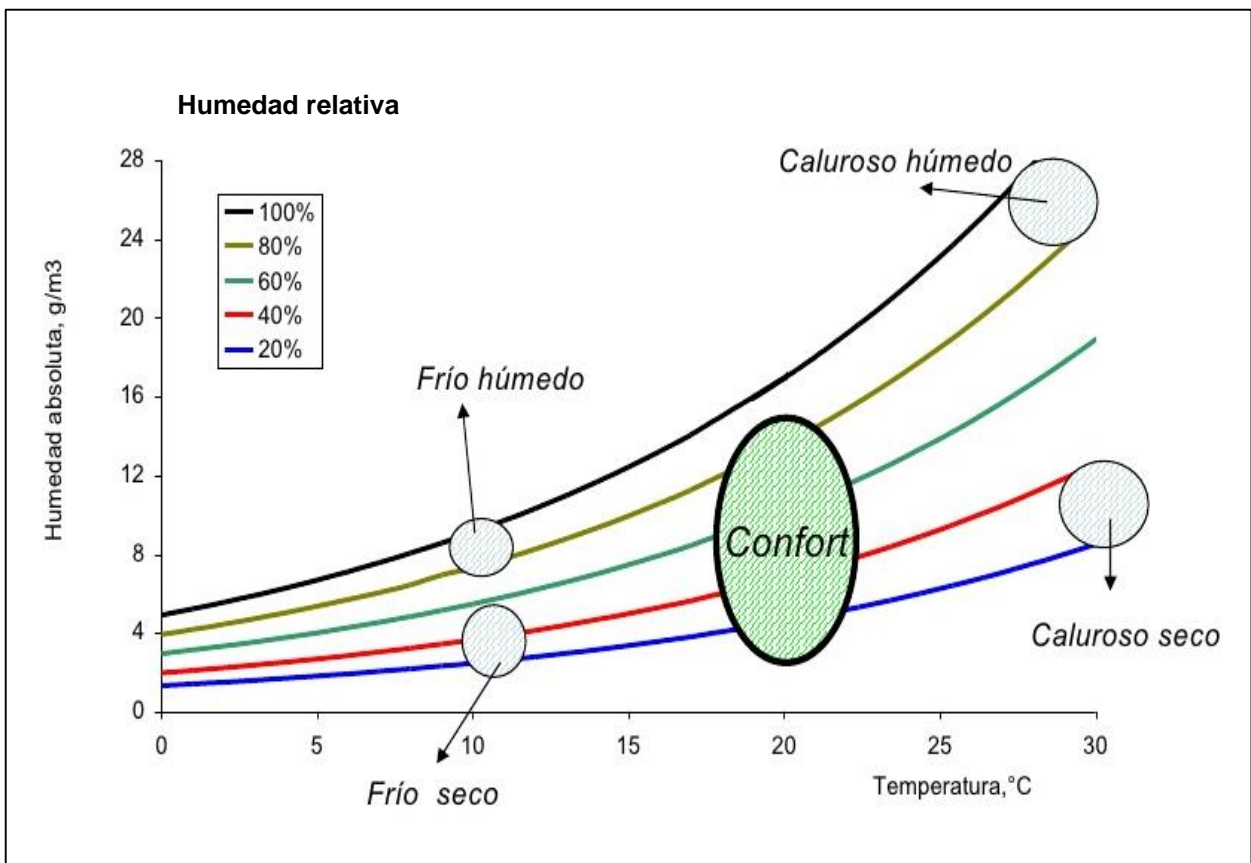


Ilustración 9. Diagrama de confort higrotérmico. Fuente: Gabriel Rodríguez, curso "Física de la construcción", 2015.

En la siguiente tabla, se pueden observar algunos límites establecidos para una sensación de confort.

Tabla IV. Sensación térmica de un ambiente según temperatura, humedad y velocidad del aire. Fuente: [30].

Temperatura del aire [°C]	Humedad relativa del aire [%]	Velocidad del aire [m/s]	Sensación térmica [°C]	Sensación de confort
25	100	0,1	25,0	Caluroso
25	100	0,5	24,0	Caluroso
25	100	1,0	23,0	Tibio
25	100	1,5	22,2	Tibio
25	80	0,1	23,5	Tibio
25	80	0,5	23,0	Tibio
25	80	1,0	22,0	Agradable
25	80	1,5	21,3	Agradable
25	60	0,1	22,8	Agradable
25	60	0,5	22,0	Agradable
25	60	1,0	21,2	Agradable
25	60	1,5	20,5	Agradable
25	40	0,1	21,3	Agradable
25	40	0,5	21,5	Agradable
25	40	1,0	20,0	Agradable
25	40	1,5	29,0	Agradable
20	100	0,1	29,0	Agradable
20	100	0,5	18,5	Agradable
20	100	1,0	17,3	Frío
20	100	1,5	16,2	Frío
20	60	0,1	18,0	Frío
20	60	0,5	17,1	Frío
20	60	1,0	16,0	Frío
20	60	1,5	15,0	Frío

Como se puede notar, la sensación térmica es muy variable y en general depende de cada persona. A pesar de esto, se ha definido un rango de temperaturas confortables que van desde los 18 a los 24°C aproximadamente, con una humedad relativa del aire de entre 35 y 75% y una velocidad de movimiento del aire menor a 1 m/s.

## 2.7. Resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U)

La norma chilena NCh853 [2], define la resistencia térmica (R) como la oposición al paso del calor que presentan los materiales, en este caso, de construcción. Está inversamente relacionada con la capacidad para transmitir calor por conducción de un material. Para obtener una buena aislación de la envolvente térmica, es necesario aumentar la resistencia térmica de los materiales que componen los elementos de esta.

La resistencia térmica de un material depende de la conductividad térmica y del espesor de este, lo que se ve expresado en la siguiente fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Donde:

- $R =$  Resistencia térmica  $\left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- $\lambda =$  Conductividad térmica  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
- $e =$  Espesor (m)

De esta forma, para aumentar la resistencia térmica es necesario aumentar el espesor del material o utilizar materiales más aislantes (menor conductividad térmica).

Para el caso de un elemento compuesto por más materiales, la resistencia térmica total del elemento se puede determinar de la siguiente manera:

$$R = \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} \quad \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Donde:

- $R =$  Resistencia térmica total del elemento  $\left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- $\lambda_i =$  Conductividad térmica del material  $i$   $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
- $e_i =$  Espesor del material  $i$  (m)

Si es el caso, se puede aumentar la resistencia térmica del elemento compuesto utilizando más capas de materiales, o de igual forma, utilizando materiales más aislantes o de mayor espesor.

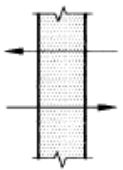

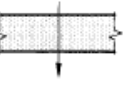
Definido lo anterior, es importante destacar que las superficies (interiores y exteriores) de los elementos de construcción poseen unas pequeñas capas de aire adheridas a ellas, las cuales se deben considerar en el cálculo de la resistencia térmica total. Adicionalmente, si el elemento posee una cámara de aire, se debe considerar su resistencia térmica en el cálculo. De esta forma, el cálculo final se hace utilizando la siguiente fórmula, en donde los valores de las resistencias superficiales y de las cámaras de aire se presentan en las tablas V y VI, obtenidas de la norma NCh 853 [2].

$$R_T = R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + \sum_i R_{gi} + R_{se} \quad \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Donde:

- $R_T =$  Resistencia térmica total del elemento  $\left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- $R_{si} =$  Resistencia de la capa de aire superficial interior  $\left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- $R_{se} =$  Resistencia de la capa de aire superficial exterior  $\left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$
- $\lambda_i =$  Conductividad térmica del material  $i \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
- $e_i =$  Espesor del material  $i$  (m)
- $R_{gi} =$  Resistencia térmica de la cámara de aire  $i \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

Tabla V. Resistencias térmicas superficiales. Fuente: [2].

Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

NOTAS

- Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de NCh851.
- Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior menores que 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar  $R_{se} = 0$ .
- Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de techumbres y descendente a través de los pisos.
- Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.

Tabla VI. Resistencia térmica de la cámara de aire. Fuente: [2].

Espesor de la cámara [mm]	Emisividad total, E
	Resistencia térmica $R_g$ [ $m^2-K/W$ ]
	0,82
5	0,1
10	0,13
15	0,13
20	0,14
30	0,14
40	0,14
50	0,14
60	0,14
70	0,14
80	0,15
90	0,15
>90	0,15

Así como existe el concepto de resistencia térmica, también existe el concepto de transmitancia térmica (U), que según la norma chilena NCh853 [2] corresponde al flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. Posee unidades de  $[W/m^2 \cdot K]$  y se calcula como el inverso de la resistencia térmica total, según la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Donde:

- $U = \text{Transmitancia térmica total} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
- $R_T = \text{Resistencia térmica total} \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

Se puede apreciar que mientras mayor sea la resistencia térmica de un elemento, menor será su transmitancia térmica (y viceversa), por lo que lógicamente, para tener una buena envolvente térmica que sea capaz de mantener una temperatura agradable dentro de la vivienda, es necesario disminuir la transmitancia térmica (flujo de calor) o aumentar la resistencia térmica (oposición al paso del calor).



## **CAPITULO 3: BENEFICIOS DE LAS CUBIERTAS VEGETALES**

Debido a la gran concentración de edificaciones y pavimentos en la ciudad de Santiago y la Región Metropolitana, las áreas verdes y los lugares de esparcimiento al aire libre han ido desapareciendo paulatinamente, haciendo de la ciudad un lugar cada vez más artificial para vivir. Los vehículos motorizados y el uso de la calefacción consumen gran parte del oxígeno disponible. Además, producen sustancias dañinas para el cuerpo humano y para el medio ambiente. Las grandes superficies de asfalto y construcciones de hormigón en la zona urbana provocan un calentamiento de la atmósfera y una acumulación de polvo y partículas nocivas que tarde o temprano los vientos terminan esparciendo por la ciudad.

Debido al poco conocimiento que hay sobre el tema, generalmente se subestiman las mejorías y beneficios que tienen los techos verdes y la importancia que éstos tendrán en un futuro, ya que la tendencia mundial no está enfocada en tratar combinar la economía del privado con la ecología, por lo que generalmente no se diseñan construcciones sustentables y amigables con el entorno.

La utilización de techos enjardinados posee variados beneficios tanto públicos como privados, económicos como medioambientales, estéticos como técnicos, etc. A continuación, se describen las ventajas más significativas y provechosas para la ciudad.

### **3.1. Beneficios públicos**

Las cubiertas vegetales, a diferencia de otras soluciones tecnológicas de techumbres, presentan múltiples beneficios para la población. Esto se traduce en que muchos países más desarrollados han tratado de impulsar y de generar acuerdos entre el sector privado y el gobierno, con la finalidad de promover este tipo de tecnologías constructivas.

En Chile, aún no existen incentivos por parte del gobierno destinados a entregar algún tipo de beneficio a las personas o empresas que inviertan en estos proyectos. A pesar de esto, se espera que en el futuro los entes privados puedan tomar en cuenta las cubiertas vegetales en sus proyectos de edificaciones, al menos para devolver una parte de vegetación a la ciudad.

A continuación, se presentan los principales beneficios públicos que trae la implementación de cubiertas vegetales.

### 3.1.1. Reducción del efecto de isla de calor

El reemplazo de las áreas verdes y vegetación natural en las zonas urbanas por materiales típicos de construcción, aumentan la temperatura ambiente promedio en comparación a las zonas suburbanas y rurales. La gran inercia térmica que estos materiales poseen, facilitan la absorción de calor durante las horas de insolación directa, quedando retenido para luego ser reemitido a la atmósfera. Adicionalmente, las altas edificaciones dificultan los movimientos de aire, impidiendo que ingresen flujos de aire para ventilar.

El hormigón posee un valor del calor específico cercano a 0,2 [cal/g-K], en cambio, la tierra húmeda tiene un valor cercano a 1 [cal/g-K]. Esto quiere decir que al aplicar una misma cantidad de energía a una misma masa de ambos materiales, el alza de la temperatura de estos es aproximadamente 5 veces menos en la tierra húmeda. Esto puede explicar en gran parte el por qué el exceso de hormigón en las ciudades provoca el efecto de isla de calor.

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

Donde:

- $Q = \text{Calor [Joule]}$
- $m = \text{masa [kg]}$
- $C_e = \text{Calor específico } \left[ \frac{\text{Joule}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$
- $\Delta T = \text{Diferencia de temperatura [K]}$

Las diferencias de temperatura en una isla de calor varían entre 2° a 10° C, dependiendo de la hora del día y de la ubicación. En las mañanas de verano, una isla de calor puede tener entre 2° a 5° C más que el resto de la ciudad. Durante el mediodía, la diferencia es más notoria, llegando a elevar la temperatura de la isla de calor en unos 10° por sobre el resto de la ciudad. En la noche, esta diferencia baja a 5° o 6° C [6].

Según mediciones realizadas por el académico de la Universidad de Chile, Gabriel Rodríguez [25], durante el verano, las temperaturas de los pavimentos marcan aproximadamente entre 45 y 55°C. Las mediciones hechas sobre la vegetación entregaron valores de temperaturas entre 30 y 35°C, por lo que claramente se puede ver que el hormigón es capaz de calentarse más rápidamente que un jardín, que es el caso, de una cubierta vegetal.

Las islas de calor impactan la salud de las personas (riesgos respiratorios y cardiacos), el consumo energético (mayor energía utilizada en calefacción o climatización) y el medio ambiente (deforestación y extinción de especies) [1].

Con la implementación de techos vegetales, los materiales como el hormigón serían cubiertos por áreas verdes (y tierra húmeda), disminuyendo los efectos de la isla de calor, además del consumo energético provocado por el uso de refrigeración durante el verano.

### **3.1.2. Mejoras en la calidad del aire**

Mediante el proceso de fotosíntesis, las plantas utilizan el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el aire, transformándolo en celulosa, glucosa y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). Además, la vegetación actúa como un filtro del aire, capturando algunos metales pesados como plomo y mercurio, material particulado en forma de polvo (evitando su distribución por la ciudad), contaminantes gaseosos (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono), etc. [7].

El  $\text{CO}_2$  es uno de los gases que más contaminación genera en el aire, además de ser el factor principal del calentamiento global producto del efecto invernadero. Cuando las emisiones de  $\text{CO}_2$  son muy altas, éste se acumula en la atmósfera, aumentando la temperatura del planeta. Esto solo se puede combatir aumentando las áreas verdes o disminuyendo la cantidad de emisiones de  $\text{CO}_2$ .

Chile, como país miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), debe cumplir un estándar que regula la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero. A pesar de todo, Chile es el más contaminado de los 36 países miembros de la OCDE. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), Santiago está entre las ciudades más seriamente contaminadas del mundo. El estar expuestos a altos niveles de contaminación, se traduce en enfermedades respiratorias y muertes prematuras, lo cual disminuye la esperanza de vida de los habitantes.

Según el Ministerio del Medio Ambiente [10], Chile es responsable del 0,26% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  a nivel mundial. Sin embargo, si se compara con algunos países desarrollados como Estados Unidos o China (los mayores contaminantes a nivel mundial), el porcentaje de emisión de gases de efecto invernadero, particularmente de  $\text{CO}_2$ , es relativamente bajo. A pesar de esto, Chile se ha comprometido a disminuir sus emisiones de  $\text{CO}_2$  en el acuerdo firmado en la “XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático”, también llamado COP21 [24].

Si continuamos a este ritmo, en el futuro, los problemas de contaminación formarán parte importante en la agenda gubernamental. El cambiar las cubiertas tradicionales por techos vegetales conlleva a un aumento de las áreas verdes, genera un

mejor equilibrio en el ciclo del carbono, mejorando la calidad del aire y disminuyendo la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera.

### **3.1.3. Mejoras en la gestión de las aguas lluvias**

Santiago de Chile es una ciudad perteneciente a la Región Metropolitana que tiene graves problemas para eliminar las aguas pluviales. Su incapacidad de drenar de una manera adecuada y eficiente el agua procedente de las fuertes precipitaciones, es un problema del cual hay que hacerse cargo. El aumento de la urbanización, junto con la poca previsión en la planificación de la red de drenaje, no permite que esta última pueda absorber de forma rápida y eficaz los excesos de agua que hay en la ciudad, provocando frecuentes inundaciones en algunos sectores de la capital.

Los techos verdes son buenos elementos de retención de aguas pluviales debido a que una parte considerable es absorbida por la capa de sustrato, la cual va liberando el exceso de agua lentamente. Además, la vegetación también almacena y absorbe una parte de estas aguas lluvias, la cual se transfiere a la atmósfera mediante el proceso de evapotranspiración, ayudando al ciclo hidrológico. La cantidad de agua retenida depende del tipo de sustrato, declive del techo, vegetación, etc., pero en todos los casos, hay una reducción de la cantidad de agua que el sistema de desagüe debe evacuar.

Diversos estudios a lo largo del tiempo, han demostrado que durante las primeras dos horas de lluvias intensas, los techos vegetales son capaces de retener entre un 60% y un 100% de las aguas pluviales, la cual es liberada a medida que van pasando las horas. [8]

Lo anteriormente descrito es bastante beneficioso para Santiago, ya que hay sectores de la capital chilena que colapsan y que son incapaces de drenar los grandes volúmenes de aguas pluviales, sufriendo inundaciones cuando hay precipitaciones intensas en periodos de tiempo breves.

Algunas ciudades del mundo, como California en Estados Unidos, han solucionado en gran parte este problema a través de la implementación de cubiertas vegetales (junto con otras planificaciones que se han hecho a nivel de ciudad). Esto hace pensar que si se miran los techos verdes como una solución no solo a nivel de viviendas, sino que a nivel de ciudad y comunidad, su utilización podría llegar a ser altamente provechosa para todos los habitantes de la capital.

A continuación, en la Ilustración 10, se presenta un gráfico comparativo de la retención de aguas lluvias entre una azotea convencional y una cubierta vegetal de 10 [cm] de espesor de sustrato. Hay que tener presente que 1 [mm] de precipitación equivale a 1 [litro/m<sup>2</sup>].

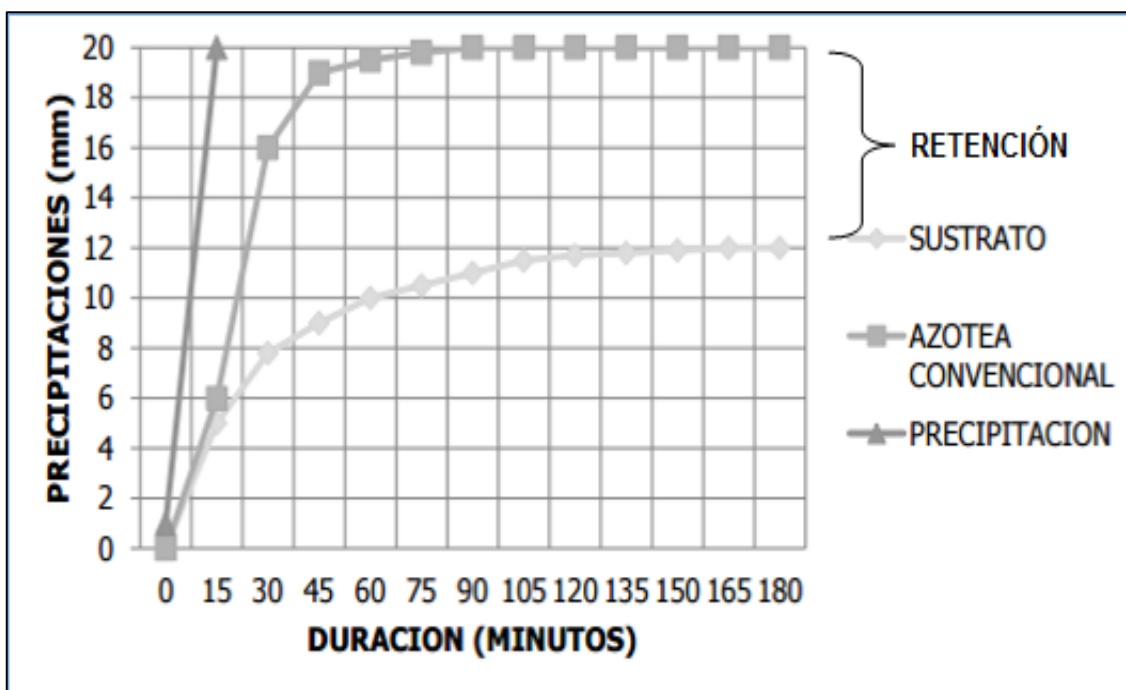


Ilustración 10. Comparación de la retención de aguas lluvias entre una azotea convencional y una azotea vegetal.  
Fuente: Gernot Minke [9].

### 3.1.4. Aumento de las áreas verdes

Debido al aumento de la población de Santiago y de la Región Metropolitana, las áreas verdes y zonas agrícolas cercanas a la capital han desaparecido, dando paso a zonas habitacionales. Actualmente, en Santiago existen aproximadamente 4 [m<sup>2</sup>] [10] de áreas verdes por habitante, siendo Vitacura la comuna con mayor superficie de áreas verdes [56,2 m<sup>2</sup>/hab] y El Bosque como la comuna con menor cantidad de áreas verdes [1,8 m<sup>2</sup>/hab].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la superficie per cápita recomendada es de 9 [m<sup>2</sup>/hab]. Según esto, solo 8 comunas del Gran Santiago cumplen con la recomendación. Para la Organización de las Naciones Unidas (ONU), lo recomendado es de 16 [m<sup>2</sup>/hab], por lo que solo 6 comunas del Gran Santiago están por sobre este estándar [11].

La instalación de cubiertas vegetales recupera parte de las áreas verdes que se han reemplazado por materiales de construcción, lo que permite una mejor calidad de vida de las personas y un acercamiento al estándar de las organizaciones internacionales.



*Ilustración 11. Ejemplo del aumento de las áreas verdes a través de la implementación de cubiertas vegetales.*

### **3.1.5. Conservación de la biodiversidad**

A medida que la ciudad se va expandiendo, el hábitat de pequeños insectos, aves y animales es desplazado, por lo que las distintas especies deben buscar otro territorio donde vivir. La biodiversidad está siendo afectada y es nuestro deber el tratar de conservarla.

Los techos vegetales pueden compensar en parte la deforestación, permitiendo que varias especies de animales (insectos, aves, etc.) y plantas tengan un lugar alternativo para habitar.

### **3.2. Beneficios privados**

Desde el punto de vista privado, la implementación de techos vegetales en las cubiertas de las edificaciones también trae consigo varios beneficios que son importantes de destacar. Estos beneficios pueden traducirse a dinero, como también un fortalecimiento de la imagen de la empresa y la relación con sus trabajadores.

A continuación se presentan los principales beneficios para los sectores particular y privado que poseen las cubiertas vegetales.

### 3.2.1. Aumento de la aislación térmica y eficiencia energética

Michel Canales [4], realizó mediciones de la resistencia térmica que poseen distintos sustratos, concluyendo que éstos aportan hasta un máximo del 40% de la resistencia térmica mínima requerida por la OGUC [13]. A pesar de esto, de acuerdo a su modelación, los techos vegetales entregan muchos más beneficios que no quedan representados solo por el valor de la resistencia térmica.

Durante el invierno, cuando la superficie del sustrato se puede congelar, queda con una temperatura fija de 0 C°, por lo que la temperatura exterior no baja de ese rango. La capa de aire que se encuentra sobre el sustrato permanece inmóvil, entregando una importante aislación. La radiación emitida por el edificio es absorbida y reflejada por las plantas, disminuyendo la pérdida de radiación de calor del edificio.

Durante el verano, el efecto que producen los techos verdes en la aislación térmica es mucho más significativo que durante el invierno. La vegetación cubre el sustrato proporcionándole sombra y protegiéndolo de la radiación solar, lo que evita que la temperatura aumente notoriamente. Adicionalmente, la vegetación refleja una parte de la radiación solar, mientras que el resto de esta radiación es absorbida y utilizada en el proceso de la fotosíntesis y evapotranspiración. La evaporación emplea una fracción importante del calor recibido (un kilogramo de agua en estado líquido necesita aproximadamente 560 kilocalorías para pasar a su estado gaseoso).

La CDT [1] cita un estudio de la “National Research Council” publicado el 2003, la cual dice que en un edificio en particular, la reducción en el gasto de energía eléctrica, por menor uso de equipos de aire acondicionado, fue equivalente a un 75%.



Ilustración 12. Ejemplo del flujo de calor en una vivienda. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente [10].

### **3.2.2. Mayor vida útil de las cubiertas**

La duración de las cubiertas y techos convencionales tiene un tiempo de utilización límite. Factores como el frío, la lluvia, el viento, rayos ultravioletas, el calor, fluctuaciones de temperatura, presencia de gases provenientes de las industrias y la combustión, entre otros, afectan negativamente el tiempo de vida útil de estas techumbres.

Según la CDT [1], el daño en las membranas impermeabilizantes es el principal causante de la corta duración que tienen las techumbres en promedio (15 años). El daño se debe principalmente a la gran variación en la temperatura a las cuales están sometidas. Estas membranas pueden estar expuestas a variaciones por sobre los 45 C°, mientras que con una cubierta vegetal, las fluctuaciones no son mayores a 6 C°, lo cual permite que la membrana impermeabilizante tenga un tiempo mayor de vida útil (más de 25 años). Adicionalmente, las cubiertas vegetales protegen la membrana de los rayos ultravioleta, la lluvia y el viento, alargando aún más el periodo de vida útil.

La utilización de techos verdes ayuda a reducir futuros costos en mantenimiento, ya que se incrementa la vida útil de las membranas impermeabilizantes.

### **3.2.3. Mayor aislación acústica**

El ruido es cualquier sonido que sea calificado como molesto, desagradable o inoportuno, por quien lo percibe. Provoca efectos negativos en la calidad de vida de las personas tales como pérdida de la audición, estrés, dificultad para comunicarse, insomnio, afecta la recuperación de pacientes en hospitales, etc. Generalmente, los niveles de ruido más altos se concentran en las grandes ciudades. La intensidad del ruido se mide en decibeles (dB(A)) y los límites máximos recomendados por la OCDE para el periodo diurno es de 65 dB(A) y de 55 dB(A) para el periodo nocturno.

La contaminación acústica es un problema del medio ambiente urbano al cual no se le ha sabido afrontar de una forma correcta para encontrar una solución definitiva. Las fuentes de estos ruidos son principalmente producto del gran desplazamiento de vehículos y del atascamiento de estos; por la realización de trabajos urbanos y nuevas construcciones; por la gran cantidad de actividades comerciales y comercio callejero, entre otras. Esto es un problema para las personas, ya que no se alcanza el confort acústico necesario para una vida normal [27].

En Chile existen normas para regular la aislación del ruido, sin embargo, estas no son suficientes para asegurar una buena calidad de vida y confort acústico de las personas. En la Comuna de Santiago, el 54% de la superficie se encuentra sobre los 65 dB(A) durante el día y el 64% de la superficie se encuentra sobre los 55 dB(A) durante la noche, superando las recomendaciones de la OCDE [11]. Esto se hace aún más preocupante cuando se compara con la reglamentación chilena [26], la cual fija los límites en 55 dB(A) para el periodo diurno (de las 7 a las 21 horas) y 45 dB(A) para el periodo nocturno (de las 21 a las 7 horas).



Algunos estudios demuestran que las plantas reducen el ruido mediante los fenómenos de absorción (transformación de energía sonora en energía cinética y calórica), reflexión y deflexión (dispersión). En los techos vegetales, la vegetación no cumple un rol protagonista, sin embargo, el sustrato es capaz de absorber aproximadamente 40 dB(A) para un espesor de 12 [cm], y cerca de 46 dB(A) para un espesor de 20 [cm] de sustrato [9].

Los techos, para las casas de un piso o para el último piso, son la mayor superficie envolvente de esa unidad. Como los techos generalmente están constituidos por una cubierta delgada (zinc, fibrocemento, vulcanita o similares), su aislación acústica es muy débil, de modo que el ruido exterior penetra fácilmente al interior. Ello es causa de la mala aislación de las viviendas. Similar cosa ocurre con las ventanas.

El uso de cubiertas ajardinadas permite aumentar el aislamiento acústico de las viviendas, previniendo problemas en la salud tanto físicos como psicológicos causados por el ruido.

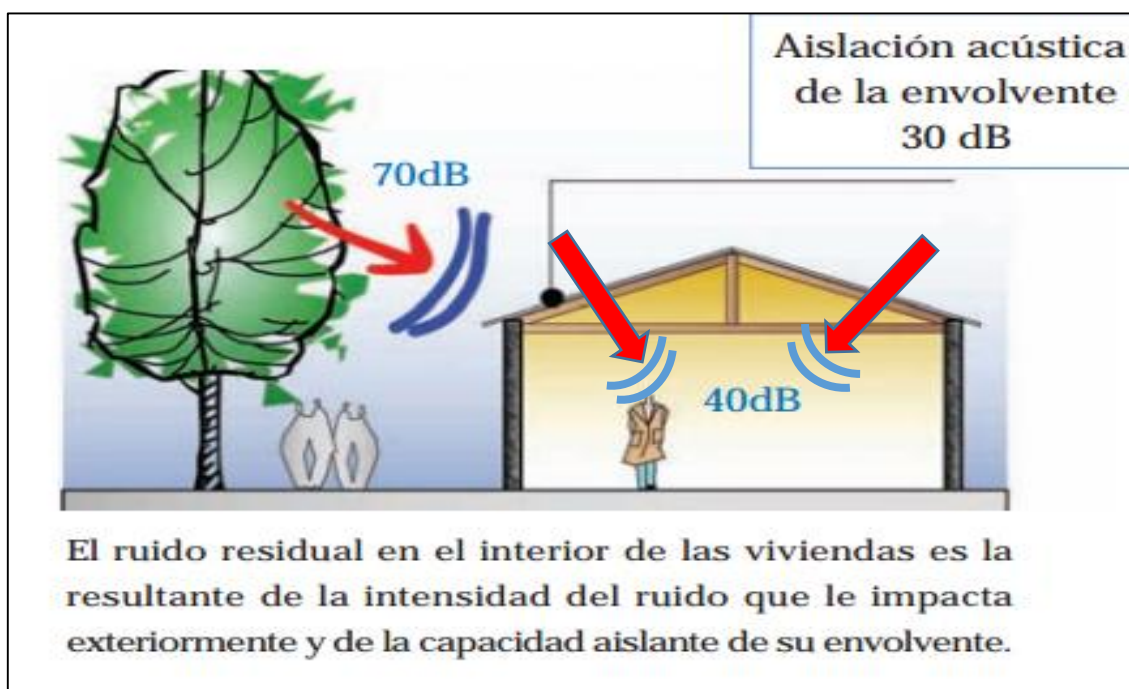


Ilustración 13. Ejemplo de aislación acústica de la envolvente. Fuente: [26].

### 3.2.4. Fortalecimiento de imagen y comercialización

Es sabido que el tema de la sustentabilidad está comenzando a estar presente en la toma de decisiones al momento de llevar a cabo una edificación. Las personas, al momento de comprar un departamento o una casa, están cada vez más interesadas en que la construcción cuente con alguna certificación, que sea amigable con el medio ambiente o que simplemente les signifique algún ahorro económico futuro en materia de energía y gastos comunes.

El “Edificio Consorcio-Santiago”, ubicado en la comuna de Las Condes, es un ejemplo de la buena imagen ambiental que entregan las cubiertas vegetales (en este caso, una fachada vegetal). Ha sido ganador de múltiples premios tanto nacionales como internacionales debido a su arquitectura y eficiencia. Se estima que puede llegar a reducir cerca de un 50% de los recursos destinados a climatización en edificios [12].

La utilización de techos vegetales también aporta puntos para obtener la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), mostrando a la comunidad la responsabilidad social y medio ambiental que posee la empresa, mejorando la comercialización del edificio y la imagen corporativa de la empresa.



*Ilustración 14. Edificio Consorcio. Fuente: Consorcio.cl*

### **3.2.5. Otros**

En Japón, los techos verdes son utilizados como huertos o jardines urbanos, haciendo que los moradores cultiven verduras y flores para su propio uso, permitiendo un ahorro económico y un gran aporte psicológico para quienes se preocupan del cultivo y de la mantención vegetal. Además, el ser humano, por una condición innata, tiene un sentido de conexión con la naturaleza y muchas formas distintas de vida, lo cual se conoce con el nombre de biofilia. Algunos documentos publicados [27] señalan que las cubiertas vegetales han mostrado tener distintos efectos positivos sobre la salud de las personas, aumenta la productividad de los trabajadores y favorece la recuperación de pacientes en hospitales que poseen esta tecnología.

## **CAPÍTULO 4: PARQUE DE VIVIENDAS DE SANTIAGO PARA EL AÑO 2050**

El parque de viviendas de Santiago es bastante amplio y se ha intentado caracterizarlo en variados estudios a lo largo de los años. Cada vivienda construida es distinta de las otras en cuanto a número de pisos, tipo de agrupación, superficie, año de construcción, materialidad, aislación térmica, etc. A pesar de esto, se puede realizar una primera gran diferenciación entre viviendas unifamiliares (casa aislada, casa pareada y casa en línea) y viviendas en departamentos (edificios), debido a que ambas poseen una proyección distinta en la superficie de techos.

El gasto energético de una vivienda y el ahorro que proporciona una medida de eficiencia energética está directamente relacionado con la calidad de la envolvente y con la ubicación que tiene esta vivienda en relación a otras. Por ejemplo, una vivienda aislada, como una casa, tendrá un comportamiento térmico diferente al de un departamento que se encuentre en la parte central de un edificio, ya que este último no tendrá muros ni techumbre en contacto con el exterior, minimizando las transferencias de calor con el medio.

En este capítulo se presentarán los supuestos realizados, la base de datos utilizada para proyectar la cantidad de viviendas al año 2050, las fórmulas y estudios consultados, la cantidad de energía requerida para ese mismo año, etc., con la finalidad de entregar una estimación más exacta del ahorro energético provocado por la implementación de cubiertas vegetales.

## 4.1. Parque de viviendas actual y proyección para el año 2050

Para obtener el parque de viviendas esperado para el año 2050, hay que poder caracterizar el parque de viviendas actual, realizar proyecciones sobre la cantidad de habitantes que tendrá Santiago para ese año, el número de habitantes por vivienda esperado para la mitad de este siglo y la futura distribución de estas viviendas en cuanto a casas y departamentos.

A continuación, se presenta el procedimiento seguido para proyectar el parque de viviendas al año 2050, su distribución en cuanto a materialidad, tipo de casa, año de construcción, entre otras cosas.

### 4.1.1. Cantidad actual de habitantes y proyección para el año 2050

Debido a que el CENSO del año 2012 entregó resultados erróneos a causa de la mala implementación de éste, el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) tuvo que realizar una proyección de habitantes para las distintas regiones del país [16]. Este documento, muestra año a año la cantidad de habitantes actualizada hasta el año 2012 y su proyección hasta el año 2020. Otro estudio publicado por el INE [17], muestra la cantidad de habitantes por región cada 10 años, a partir de 1950. De esta forma, asumiendo que la tasa de crecimiento es constante cada 10 años, se puede estimar la cantidad de habitantes de la Región Metropolitana (asumiendo que no se activan programas severos para controlar la tasa de natalidad).

Lo dicho anteriormente queda registrado en las tablas VII y VIII y en la ilustración 15.

Tabla VII. Proyección de habitantes de la RM hasta el año 2050. Fuente: elaboración propia en base a datos del INE [16], [17].

Año	Habitantes	Año	Habitantes	Año	Habitantes	Año	Habitantes
2002	6.318.299	2016	7.247.115	2030	7.878.217	2044	8.103.831
2003	6.391.827	2017	7.300.506	2031	7.899.012	2045	8.107.629
2004	6.465.348	2018	7.353.887	2032	7.919.862	2046	8.111.429
2005	6.538.896	2019	7.407.295	2033	7.940.767	2047	8.115.231
2006	6.607.805	2020	7.460.708	2034	7.961.728	2048	8.119.035
2007	6.676.745	2021	7.501.443	2035	7.982.743	2049	8.122.840
2008	6.745.651	2022	7.542.401	2036	8.003.814	2050	8.126.647
2009	6.814.630	2023	7.583.582	2037	8.024.941		
2010	6.883.563	2024	7.624.989	2038	8.046.123		
2011	6.945.593	2025	7.666.621	2039	8.067.362		
2012	7.007.620	2026	7.708.481	2040	8.088.656		
2013	7.069.645	2027	7.750.569	2041	8.092.447		
2014	7.131.682	2028	7.792.887	2042	8.096.240		
2015	7.193.719	2029	7.835.436	2043	8.100.035		

Tabla VIII. Tasa de crecimiento anual. Fuente: elaboración propia en base a los datos del INE [16], [17].

	Años		
	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Tasa de crecimiento anual	0.55%	0.26%	0.05%

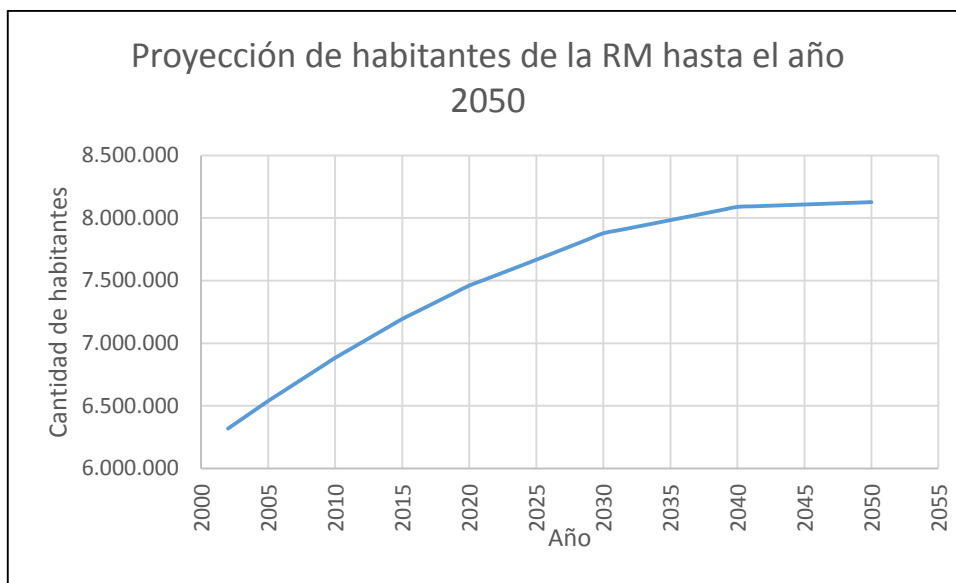


Ilustración 15. Proyección de habitantes de la RM hasta el año 2050. Fuente: elaboración propia en base a datos del INE [16], [17].

Actualmente en Chile, la población de la Región Metropolitana equivale aproximadamente al 40,6% de la población total a nivel país, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas [16]. Para el año 2050, la relación se mantiene con un 40,2%, ya que se espera que la cantidad de habitantes de Chile sea de aproximadamente 20.204.779 personas.

En la tabla VIII se puede observar claramente una baja en la tasa de crecimiento anual de la población a medida que pasan los años. Esta es una tendencia que se está dando en los países en vías de desarrollo y desarrollados, ya que debido al mayor acceso a la contracepción, la incorporación de la mujer al mundo laboral y a la educación, a la atención de salud primaria, etc., la tasa de natalidad está disminuyendo, incluso llegando a niveles por debajo de la tasa de mortalidad, lo que provoca que la población comience a estancarse.

#### 4.1.2. Cantidad de habitantes por vivienda

Debido al mayor poder adquisitivo de la población, la adquisición de segundas viviendas es cada vez más común. En el CENSO del año 1992, se registraron aproximadamente 4,29 habitantes por viviendas y en el CENSO del año 2002, este valor disminuyó a 3,84 habitantes por viviendas.

Un estudio de la Fundación Chile [18] entrega una fórmula que relaciona la cantidad de habitantes por vivienda en un cierto año, la tasa de crecimiento anual del producto interno bruto para el mismo periodo, y la cantidad de habitantes por viviendas del año anterior. De esta forma, es posible proyectar el número de habitantes por viviendas que tendría la Región Metropolitana, sabiendo que, como se dijo anteriormente, el número de habitantes por vivienda en el año 2002 es de 3,84.

Con datos del Banco Central de Chile [19], se obtuvieron los datos de la tasa real anual de crecimiento del PIB desde el año 2002 hasta el 2014. Para el año 2015, se proyecta una tasa de 2,75% y desde el año 2016 hasta el 2020, se espera una tasa de 3,5%. En el futuro, se asumirá un escenario de crecimiento medio, con una tasa anual de 3,5%, al igual que para los años anteriores. Lo dicho anteriormente en este párrafo, queda resumido en la tabla IX.

Tabla IX. Tasa de crecimiento anual del PIB por año. Fuente: elaboración propia en base a datos del BCC [19].

Año	Tasa de crecimiento anual del PIB	Año	Tasa de crecimiento anual del PIB	Año	Tasa de crecimiento anual del PIB	Año	Tasa de crecimiento anual del PIB
2002	-	2015	2,8%	2028	3,5%	2041	3,5%
2003	3,3%	2016	3,5%	2029	3,5%	2042	3,5%
2004	5,8%	2017	3,5%	2030	3,5%	2043	3,5%
2005	6,3%	2018	3,5%	2031	3,5%	2044	3,5%
2006	4,2%	2019	3,5%	2032	3,5%	2045	3,5%
2007	5,1%	2020	3,5%	2033	3,5%	2046	3,5%
2008	3,2%	2021	3,5%	2034	3,5%	2047	3,5%
2009	-1,5%	2022	3,5%	2035	3,5%	2048	3,5%
2010	5,3%	2023	3,5%	2036	3,5%	2049	3,5%
2011	5,9%	2024	3,5%	2037	3,5%	2050	3,5%
2012	5,5%	2025	3,5%	2038	3,5%		
2013	4,4%	2026	3,5%	2039	3,5%		
2014	1,9%	2027	3,5%	2040	3,5%		

La fórmula que predice la cantidad de habitantes por viviendas para cierto año, según el estudio de la Fundación Chile [18], es la siguiente:

$$\frac{hab}{viv}(t) = \frac{hab}{viv}(t-1) \cdot (1 + B \cdot g_t)$$

Donde:

- $hab/viv(t)$  = Número de habitantes por vivienda en el año t.
- $B$  = Elasticidad estimada en el modelo econométrico (-0,29).
- $g_t$  = Tasa de crecimiento del PIB real en el año t.

De esta forma, utilizando la fórmula definida anteriormente, se obtienen los resultados en la tabla X.

*Tabla X. Cantidad de habitantes por vivienda para cada año. Fuente: elaboración propia.*

<b>Año</b>	<b>Hab/viv</b>	<b>Año</b>	<b>Hab/viv</b>	<b>Año</b>	<b>Hab/viv</b>	<b>Año</b>	<b>Hab/viv</b>
2002	3,844	2015	3,300	2028	2,890	2041	2,531
2003	3,807	2016	3,267	2029	2,861	2042	2,506
2004	3,743	2017	3,234	2030	2,832	2043	2,480
2005	3,674	2018	3,201	2031	2,803	2044	2,455
2006	3,630	2019	3,168	2032	2,775	2045	2,430
2007	3,576	2020	3,136	2033	2,747	2046	2,406
2008	3,543	2021	3,104	2034	2,719	2047	2,381
2009	3,558	2022	3,073	2035	2,691	2048	2,357
2010	3,503	2023	3,042	2036	2,664	2049	2,333
2011	3,443	2024	3,011	2037	2,637	2050	2,309
2012	3,389	2025	2,980	2038	2,610		
2013	3,345	2026	2,950	2039	2,584		
2014	3,327	2027	2,920	2040	2,557		

Una vez determinada la población y la cantidad de habitantes por viviendas esperada para cada año, es posible obtener el número de viviendas totales (considerando casas y departamentos) esperadas para cada año en la Región Metropolitana. De esta manera, se obtiene la tabla XI presentada a continuación.

*Tabla XI. Número de viviendas proyectadas para el año 2050 en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.*

<b>Año</b>	<b>Viviendas</b>	<b>Año</b>	<b>Viviendas</b>	<b>Año</b>	<b>Viviendas</b>	<b>Año</b>	<b>Viviendas</b>
2002	1.643.892	2015	2.179.687	2028	2.696.106	2041	3.196.807
2003	1.679.091	2016	2.218.382	2029	2.738.624	2042	3.231.101
2004	1.727.461	2017	2.257.641	2030	2.781.812	2043	3.265.763
2005	1.779.626	2018	2.297.468	2031	2.817.755	2044	3.300.797
2006	1.820.554	2019	2.337.883	2032	2.854.162	2045	3.336.206
2007	1.867.164	2020	2.378.887	2033	2.891.040	2046	3.371.996
2008	1.904.103	2021	2.416.402	2034	2.928.395	2047	3.408.169
2009	1.915.243	2022	2.454.509	2035	2.966.232	2048	3.444.731
2010	1.964.816	2023	2.493.216	2036	3.004.557	2049	3.481.684
2011	2.017.033	2024	2.532.535	2037	3.043.379	2050	3.519.034
2012	2.068.031	2025	2.572.473	2038	3.082.701		
2013	2.113.301	2026	2.613.041	2039	3.122.532		
2014	2.143.657	2027	2.654.248	2040	3.162.877		



### 4.1.3. Relación casas/departamentos del parque de viviendas

Conocida la proyección de la cantidad de viviendas hasta el año 2050, es importante poder desagregar los hogares correspondientes a casas y los correspondientes a departamentos, debido a la diferencia en el requerimiento energético que posee cada una de estas tipologías.

A partir de los datos del CENSO realizado en el año 2002 por el Instituto Nacional de Estadísticas [20], se sabe que en la Región Metropolitana hay un total de 1.643.892 viviendas aproximadamente, de las cuales el 21,66% (356.067) corresponden a departamentos. Con la información proporcionada por el INE [21] que hace relación a la cantidad total de permisos entregados para edificaciones en la Región Metropolitana, es posible proyectar de acuerdo a esas estadísticas, la cantidad de departamentos y casas que se construirán en el futuro.

En la tabla XII, se observa la cantidad de permisos de edificación entregados en la RM entre los años 2002 y 2014. Se puede ver que a partir del año 2006, la cantidad de permisos entregados de departamentos fueron mayores a los entregados para las casas (a excepción del año 2010). Esto se puede deber principalmente a que las ciudades se están densificando y a causa del poco espacio disponible, las edificaciones se están haciendo más altas.

Tabla XII. Permisos de edificación entregados entre los años 2002-2014. Fuente: elaboración propia en base a datos del INE [21].

Año	Casas	Departamentos	Total	% Casas	% Departamentos
2002	24.446	12.975	37.421	65,3%	34,7%
2003	28.015	21.402	49.417	56,7%	43,3%
2004	29.031	25.700	54.731	53,0%	47,0%
2005	26.847	32.675	59.522	45,1%	54,9%
2006	31.021	40.773	71.794	43,2%	56,8%
2007	28.432	37.694	66.126	43,0%	57,0%
2008	21.553	40.064	61.617	35,0%	65,0%
2009	20.306	29.254	49.560	41,0%	59,0%
2010	17.901	12.418	30.319	59,0%	41,0%
2011	16.372	23.766	40.138	40,8%	59,2%
2012	15.421	23.606	39.027	39,5%	60,5%
2013	11.693	26.838	38.531	30,3%	69,7%
2014	18.077	47.298	65.375	27,7%	72,3%

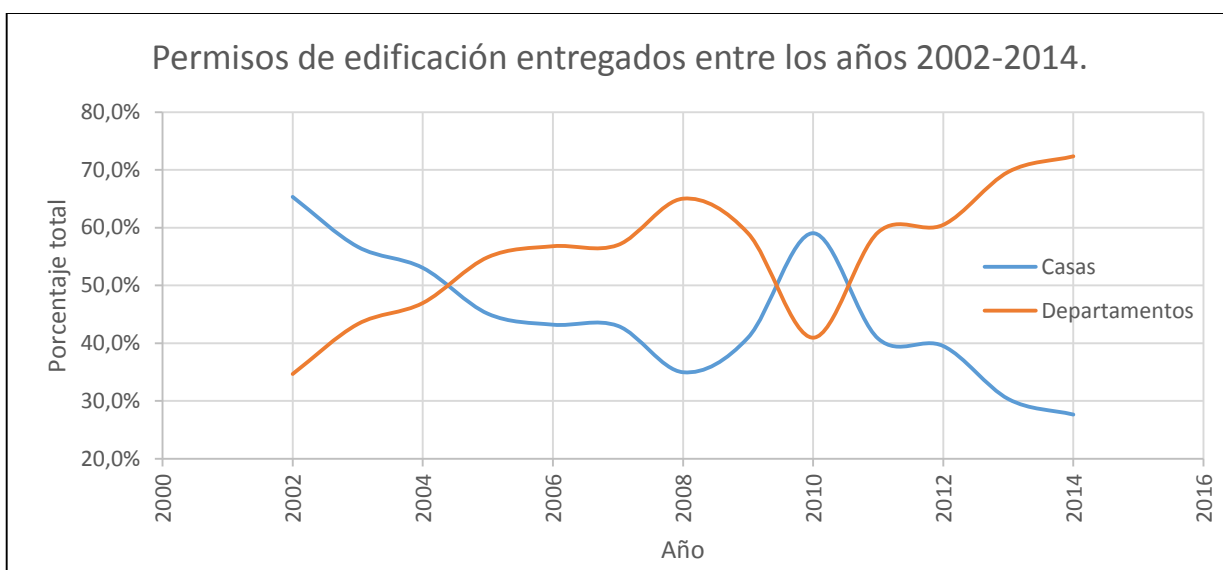


Ilustración 16. Permisos de edificación entregados entre los años 2002-2014. Fuente: elaboración propia.

Como se dijo anteriormente, la cantidad de departamentos que se construyen anualmente en la Región Metropolitana es mayor al número de casas, por lo que a medida que pasa el tiempo, la cantidad de estas edificaciones comienza a equipararse. Esto puede verse en la tabla XIII, que se elaboró con los datos reales del CENSO del 2002 [20] y con la información de la tabla anterior, en donde se comienza con una relación casas/departamentos de 78%/22% en el año 2002 y se termina con una relación 70%/30% para el año 2015. Hay que destacar que se consideró que el 20% de los permisos de edificación no se construyeron debido a que en la realidad, hay casas y edificios que no se llevan a cabo.

Tabla XIII. Distribución real de casas y departamentos en la RM para cada año. Fuente: elaboración propia.

Año	Casas	Departamentos	Total	% Casas	% Deptos.
2002	1.287.825	356.067	1.643.892	78,3%	21,7%
2003	1.307.382	366.447	1.673.829	78,1%	21,9%
2004	1.329.794	383.569	1.713.362	77,6%	22,4%
2005	1.353.019	404.129	1.757.147	77,0%	23,0%
2006	1.374.496	430.269	1.804.765	76,2%	23,8%
2007	1.399.313	462.887	1.862.200	75,1%	24,9%
2008	1.422.059	493.042	1.915.101	74,3%	25,7%
2009	1.439.301	525.093	1.964.394	73,3%	26,7%
2010	1.455.546	548.497	2.004.042	72,6%	27,4%
2011	1.469.867	558.431	2.028.298	72,5%	27,5%
2012	1.482.964	577.444	2.060.408	72,0%	28,0%
2013	1.495.301	596.329	2.091.630	71,5%	28,5%
2014	1.504.655	617.799	2.122.454	70,9%	29,1%
2015	1.519.117	655.637	2.174.754	69,9%	30,1%

Finalmente, entre el año 2002 y el año 2014, se entregaron 663.578 permisos de edificación de viviendas, de las cuales 530.862 fueron construidas y el 43,56% (231.292) corresponden a casas. Desde el año 2015 en adelante, se asumirá que el 40% de las viviendas construidas corresponden a casas y el resto a departamentos, ya que se intentará recoger la tendencia vista en los últimos años.

Tabla XIV. Permisos entregados en el periodo 2002-2014, viviendas construidas y relación casas/departamentos en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.

	Casas	Departamentos	Viviendas
Total	289.115	374.463	663.578
Construidas	231.292	299.570	530.862
Porcentaje	43,57%	56,43%	100,00%

Dicho lo anterior, y según la tabla XI, las distribuciones finales entre casas y departamentos proyectados hasta el año 2050 se presentan en las tablas XV y XVI.

Tabla XV. Proyección de nuevas casas y departamentos hasta el año 2050 en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.

Año	Nuevas construcciones			Región Metropolitana		
	Casas	Deptos.	Total	Total viviendas	Casas	Departamentos
2002	14.968	22.453	37.421	1.643.892	1.287.825	356.067
2003	14.080	21.120	35.199	1.679.091	1.301.905	377.187
2004	19.348	29.022	48.369	1.727.461	1.321.252	406.208
2005	20.866	31.299	52.165	1.779.626	1.342.118	437.507
2006	16.371	24.557	40.929	1.820.554	1.358.490	462.064
2007	18.644	27.966	46.609	1.867.164	1.377.134	490.030
2008	14.776	22.164	36.940	1.904.103	1.391.910	512.194
2009	4.456	6.684	11.139	1.915.243	1.396.365	518.878
2010	19.829	29.744	49.573	1.964.816	1.416.194	548.621
2011	20.887	31.330	52.217	2.017.033	1.437.081	579.951
2012	20.399	30.599	50.998	2.068.031	1.457.480	610.550
2013	18.108	27.162	45.270	2.113.301	1.475.588	637.712
2014	12.142	18.214	30.356	2.143.657	1.487.731	655.926
2015	14.412	21.618	36.030	2.179.687	1.502.143	677.544
2016	15.478	23.217	38.695	2.218.382	1.517.621	700.761
2017	15.703	23.555	39.258	2.257.641	1.533.325	724.316
2018	15.931	23.896	39.827	2.297.468	1.549.255	748.213
2019	16.166	24.249	40.415	2.337.883	1.565.421	772.462
2020	16.402	24.602	41.004	2.378.887	1.581.823	797.064
2021	15.006	22.509	37.515	2.416.402	1.596.829	819.573
2022	15.243	22.864	38.107	2.454.509	1.612.072	842.437
2023	15.483	23.225	38.708	2.493.216	1.627.555	865.662
2024	15.727	23.591	39.318	2.532.535	1.643.282	889.253
2025	15.975	23.963	39.938	2.572.473	1.659.257	913.215
2026	16.227	24.341	40.568	2.613.041	1.675.484	937.556

Año	Nuevas construcciones			Región Metropolitana		
	Casas	Deptos.	Total	Total viviendas	Casas	Departamentos
2027	16.483	24.725	41.208	2.654.248	1.691.968	962.281
2028	16.743	25.115	41.858	2.696.106	1.708.711	987.395
2029	17.007	25.511	42.518	2.738.624	1.725.718	1.012.906
2030	17.275	25.913	43.188	2.781.812	1.742.993	1.038.819
2031	14.377	21.566	35.943	2.817.755	1.757.370	1.060.385
2032	14.563	21.844	36.407	2.854.162	1.771.933	1.082.229
2033	14.751	22.127	36.878	2.891.040	1.786.684	1.104.356
2034	14.942	22.413	37.354	2.928.395	1.801.626	1.126.769
2035	15.135	22.702	37.837	2.966.232	1.816.761	1.149.471
2036	15.330	22.996	38.326	3.004.557	1.832.091	1.172.466
2037	15.528	23.293	38.821	3.043.379	1.847.620	1.195.759
2038	15.729	23.594	39.323	3.082.701	1.863.349	1.219.353
2039	15.932	23.898	39.831	3.122.532	1.879.281	1.243.251
2040	16.138	24.207	40.345	3.162.877	1.895.419	1.267.458
2041	13.572	20.358	33.930	3.196.807	1.908.991	1.287.816
2042	13.718	20.576	34.294	3.231.101	1.922.709	1.308.393
2043	13.865	20.797	34.662	3.265.763	1.936.573	1.329.190
2044	14.013	21.020	35.034	3.300.797	1.950.587	1.350.210
2045	14.164	21.246	35.410	3.336.206	1.964.751	1.371.456
2046	14.316	21.474	35.789	3.371.996	1.979.067	1.392.929
2047	14.469	21.704	36.173	3.408.169	1.993.536	1.414.633
2048	14.625	21.937	36.561	3.444.731	2.008.160	1.436.570
2049	14.781	22.172	36.954	3.481.684	2.022.942	1.458.742
2050	14.940	22.410	37.350	3.519.034	2.037.882	1.481.152

Tabla XVI. Distribución casas/departamentos hasta el año 2050 en la Región Metropolitana. Fuente: elaboración propia.

Año	Total Región Metropolitana				
	Casas		Departamentos		Total viviendas
2002	1.287.825	78,3%	356.067	21,7%	1.643.892
2003	1.301.905	77,5%	377.187	22,5%	1.679.091
2004	1.321.252	76,5%	406.208	23,5%	1.727.461
2005	1.342.118	75,4%	437.507	24,6%	1.779.626
2006	1.358.490	74,6%	462.064	25,4%	1.820.554
2007	1.377.134	73,8%	490.030	26,2%	1.867.164
2008	1.391.910	73,1%	512.194	26,9%	1.904.103
2009	1.396.365	72,9%	518.878	27,1%	1.915.243
2010	1.416.194	72,1%	548.621	27,9%	1.964.816
2011	1.437.081	71,2%	579.951	28,8%	2.017.033
2012	1.457.480	70,5%	610.550	29,5%	2.068.031
2013	1.475.588	69,8%	637.712	30,2%	2.113.301
2014	1.487.731	69,4%	655.926	30,6%	2.143.657
2015	1.502.143	68,9%	677.544	31,1%	2.179.687
2016	1.517.621	68,4%	700.761	31,6%	2.218.382
2017	1.533.325	67,9%	724.316	32,1%	2.257.641

Año	Total Región Metropolitana				
	Casas		Departamentos		Total viviendas
2018	1.549.255	67,4%	748.213	32,6%	2.297.468
2019	1.565.421	67,0%	772.462	33,0%	2.337.883
2020	1.581.823	66,5%	797.064	33,5%	2.378.887
2021	1.596.829	66,1%	819.573	33,9%	2.416.402
2022	1.612.072	65,7%	842.437	34,3%	2.454.509
2023	1.627.555	65,3%	865.662	34,7%	2.493.216
2024	1.643.282	64,9%	889.253	35,1%	2.532.535
2025	1.659.257	64,5%	913.215	35,5%	2.572.473
2026	1.675.484	64,1%	937.556	35,9%	2.613.041
2027	1.691.968	63,7%	962.281	36,3%	2.654.248
2028	1.708.711	63,4%	987.395	36,6%	2.696.106
2029	1.725.718	63,0%	1.012.906	37,0%	2.738.624
2030	1.742.993	62,7%	1.038.819	37,3%	2.781.812
2031	1.757.370	62,4%	1.060.385	37,6%	2.817.755
2032	1.771.933	62,1%	1.082.229	37,9%	2.854.162
2033	1.786.684	61,8%	1.104.356	38,2%	2.891.040
2034	1.801.626	61,5%	1.126.769	38,5%	2.928.395
2035	1.816.761	61,2%	1.149.471	38,8%	2.966.232
2036	1.832.091	61,0%	1.172.466	39,0%	3.004.557
2037	1.847.620	60,7%	1.195.759	39,3%	3.043.379
2038	1.863.349	60,4%	1.219.353	39,6%	3.082.701
2039	1.879.281	60,2%	1.243.251	39,8%	3.122.532
2040	1.895.419	59,9%	1.267.458	40,1%	3.162.877
2041	1.908.991	59,7%	1.287.816	40,3%	3.196.807
2042	1.922.709	59,5%	1.308.393	40,5%	3.231.101
2043	1.936.573	59,3%	1.329.190	40,7%	3.265.763
2044	1.950.587	59,1%	1.350.210	40,9%	3.300.797
2045	1.964.751	58,9%	1.371.456	41,1%	3.336.206
2046	1.979.067	58,7%	1.392.929	41,3%	3.371.996
2047	1.993.536	58,5%	1.414.633	41,5%	3.408.169
2048	2.008.160	58,3%	1.436.570	41,7%	3.444.731
2049	2.022.942	58,1%	1.458.742	41,9%	3.481.684
2050	2.037.882	57,9%	1.481.152	42,1%	3.519.034

Para finales del año 2050, se proyecta un total de 3.519.034 viviendas, de las cuales el 57,9% serán casas y el 42,1% departamentos.

## **CAPÍTULO 5: TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS**

Una vez definidas las cantidades de casas y departamentos que tendrá el parque de viviendas, es posible caracterizar de manera más detallada estas edificaciones. Los materiales, la forma y distribución de la envolvente térmica y el año de construcción son las características más relevantes de las viviendas, ya que permiten predecir el comportamiento térmico y la cantidad de energía que se necesita para alcanzar la temperatura de confort.

En la Memoria de Título llamada “Reacondicionamiento Térmico del Parque de Viviendas del Gran Santiago: Bases Para la Evaluación de Potencialidades” escrita por Jorge Taboada en el año 1987 [14], se definen 24 tipologías de viviendas que dependen de la materialidad y del tipo de agrupación que poseen. El Instituto de la Construcción ha definido 15 tipologías de viviendas, las cuales están fundamentadas en la cantidad de permisos de edificación entregados entre los años 1994-1998, según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). A pesar de que se cuentan con tipologías ya definidas, un estudio realizado por el MINVU el 2008, pudo demostrar que la construcción de hoy en día es distinta a la de años anteriores, por lo que ese tipo de viviendas ha quedado obsoleta y es necesario utilizar nuevos criterios y nuevas encuestas. Finalmente, un estudio realizado por la CDT en el año 2010 [15], entrega las bases necesarias para poder definir las tipologías de las viviendas de hoy en día.

En este capítulo se definirán las tipologías utilizadas en la modelación computacional, los supuestos realizados para caracterizar de mejor forma las viviendas y se entregará la distribución final de cada tipo de casa considerada. Hay que destacar que todo esto es válido si ningún Gobierno futuro hace algún cambio drástico en las políticas de viviendas.

## 5.1. Definición de las tipologías de las viviendas

La Corporación de Desarrollo Tecnológico, en un estudio realizado el año 2010 [15], define 8 tipologías de viviendas representativas a nivel nacional y por zona térmica, las cuales recogen características tales como superficie, materialidad, distribución interior, número de pisos, etc. De estas 8 tipologías, 6 corresponden a casas (aisladas, pareadas o en línea) y dos corresponden a viviendas en altura o departamentos. Las dimensiones y las características de estas viviendas se detallan en los anexos A y B.

### 5.1.1. Casas aisladas

Una casa aislada o casa individual es aquella que es habitada por una única familia y no posee ningún tipo de contacto físico con otras edificaciones cercanas (ninguna pared en común con otra vivienda). Comúnmente se encuentran rodeadas por un terreno perteneciente a la vivienda, es decir, un espacio privado y puede tener ventanas en todos sus muros envolventes.



*Ilustración 17. Ejemplo de una casa aislada.*

### 5.1.2. Casas pareadas

Las casas pareadas son parejas de viviendas unifamiliares con un muro o pared en común. La distribución interior de estas viviendas es totalmente independiente y cada casa tiene un acceso propio desde la vía pública. Puede haber presencia de ventanas en los muros exteriores, no así en el muro en común. Generalmente son de plantas simétricas.



*Ilustración 18. Ejemplo de una casa pareada. Nótese la simetría.*

### **5.1.3. Casas en línea o adosadas**

Las casas en línea o adosadas son viviendas unifamiliares similares a las casas pareadas, con la diferencia que están en contacto con otras dos viviendas, una de cada lado. La distribución interior también es independiente y puede haber presencia de ventanas únicamente en los muros extremos de la casa. Las casas en línea tienen en sus cabeceras una casa pareada.



*Ilustración 19. Ejemplo de viviendas en línea.*



### 5.1.4. Viviendas en altura o departamentos

Las viviendas en altura o departamento son un conjunto de espacios que constituyen un domicilio independiente dentro de una edificación de varios pisos o en altura. La principal ventaja de los departamentos es que aprovechan de muy buena forma el espacio físico, ya que se construyen de manera vertical y no horizontal. Dentro del edificio hay variados departamentos, los cuales están distribuidos en los distintos pisos, pudiendo compartir uno o más muros y losas con otros departamentos. Generalmente las plantas son repetitivas piso por piso y solo pueden tener ventanas en los muros que dan al exterior.



Ilustración 20. Ejemplo de vivienda en altura o departamento.

Es importante poder caracterizar las distintas viviendas, ya que cada una de estas tiene un gasto energético asociado y permite separar e individualizar la demanda de energía que tiene la Región Metropolitana según el tipo de tipología a la que corresponde. A continuación, en la tabla XVII, se presenta el tipo de vivienda, el número de pisos y el porcentaje a nivel nacional y en la zona térmica 3 (según el Manual de aplicación de la reglamentación térmica del MINVU [31]), zona en que se ubica la Región Metropolitana.

Tabla XVII. Porcentaje de participación de cada tipología. Fuente: CDT [15].

Tipología	Agrupación	Pisos	% Nivel Nacional	% Ajustado a la zona térmica 3
1	Casa aislada	1	23,7%	23,2%
2	Casa aislada	2	5,7%	5,6%
3	Casa aislada	2	8,3%	6,4%
4	Casa en línea	2	3,8%	2,9%
5	Casa pareada	1	23,9%	29,1%
6	Casa pareada	2	14,8%	17,3%
7	Vivienda en altura	1	8,1%	8,9%
8	Vivienda en altura	1	6,0%	6,6%
<b>Total</b>			<b>94,3%</b>	<b>100,0%</b>

## 5.2. Año de construcción de las viviendas

El año en el que se construyeron las edificaciones es un dato muy relevante en el cálculo de la demanda energética, ya que a lo largo de los años se han ido incorporando nuevas reglamentaciones térmicas, las cuales tienen como finalidad mejorar la envolvente térmica de la vivienda. En el año 2000 entró en vigencia la reglamentación térmica de la techumbre, la cual reduce el valor máximo de la transmitancia térmica de  $3,2 [W/m^2 \cdot K]$  a  $0,47 [W/m^2 \cdot K]$ . En el año 2007, se implementó la segunda fase de esta reglamentación, disminuyendo el valor de la transmitancia de los muros a un máximo de  $1,9 [W/m^2 \cdot K]$  sin importar el material. Además, ese mismo año se limitó la cantidad de superficie de ventanas máxima permitida, como se observa en la tabla XVIII.

De esta forma, cada una de las 8 tipologías distintas anteriormente definidas, tienen un valor distinto en la transmitancia térmica dependiendo del año en la que fue construida. Estos valores se presentan en la tabla XIX.

Tabla XVIII. % máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente. Fuente: OGUC [13].

Zona	Ventanas		
	% Máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente		
	Vidrio monolítico (b)	DVH Doble vidriado hermético o monolítico	
		$3,6 W/m^2-K \geq U \geq 2,4 W/m^2-K$	$U \leq 2,4 W/m^2-K$
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Aunque la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones [13] define un límite máximo para la transmitancia térmica de los vidrios cuando la superficie vidriada es muy alta respecto a los parámetros verticales de la envolvente, en la práctica, ese valor no se cumple debido al alto costo que implica el utilizar un doble vidrio. Es por esto que para las tipologías 7 y 8 (viviendas con un alto porcentaje de superficie vidriada) se utilizó una transmitancia térmica más alta que lo que permite la Ordenanza.

Tabla XIX. Transmitancia térmica máxima para cada tipología en función del año de construcción. Fuente: elaboración propia.

Tipología	Transmitancia térmica U [ $W/m^2 - K$ ]											
	Construida antes del 2000				Construida entre 2000-2007				Construida después del 2007			
	Ventana	Muro	Techo	Piso	Ventana	Muro	Techo	Piso	Ventana	Muro	Techo	Piso
1-2-3-4-6	5,8	2,3	3,2	1,4	5,8	2,3	0,47	1,4	5,8	1,9	0,47	1,4
5	5,8	2,7	3,2	1,4	5,8	2,7	0,47	1,4	5,8	1,9	0,47	1,4
7-8	3,2	3,4	3,2	1,4	3,2	3,4	0,47	1,4	3,2	1,9	0,47	1,4

Según datos del INE, en el documento “Anuario de edificación: 2001” [20], en los años 2000 y 2001 se construyeron 74.370 nuevas viviendas, las cuales ya se rigen por la reglamentación térmica actual solo en la zona de la techumbre. La distribución casas/departamentos se puede apreciar en la tabla XX.

Tabla XX. Casas y departamentos construidos entre los años 1999 y 2002 y distribución total. Fuente: elaboración propia según datos del INE [20].

Año	Nuevas construcciones			Región Metropolitana				
	Casas	Departamentos	Total	Total viviendas	Casas		Departamentos	
1999	-	-	-	1.532.101	1.226.234	80,0%	305.867	20,0%
2000	16.968	14.905	31.873	1.563.974	1.243.202	79,5%	320.772	20,5%
2001	29.655	12.842	42.497	1.606.471	1.272.857	79,2%	333.614	20,8%
2002	14.968	22.453	37.421	1.643.892	1.287.825	78,3%	356.067	21,7%

A finales del año 1999, existían un total de 1.532.101 viviendas aproximadamente, las cuales no estaban sujetas a ninguna reglamentación térmica.

### 5.3. Cantidad de viviendas por tipologías

Una vez conocidas las proyecciones del número de viviendas que se tendrán año a año y la relación casas/departamentos que tendrá la Región Metropolitana, es posible estimar las cantidades de viviendas correspondientes a cada tipología escogida. En este punto, se asumirá constante el porcentaje de incidencia que tiene cada tipología y se ponderarán por un factor de expansión o de reducción para ajustar y obtener la relación real que tienen las casas y departamentos para un cierto año.

Las tipologías 1-2-3-4-5-6 corresponden a casas, y según la tabla XVII, juntas suman un 84,5% del total de viviendas. La diferencia, un 15,5%, corresponden a departamentos y son representados por las tipologías 7 y 8. En el año 2002, las casas representan el 78,3% de las viviendas de la Región Metropolitana, por lo que el factor debe ser 0,927 para casas y 1,397 para departamentos. De esta forma, la suma de las tipologías 1-2-3-4-5-6 y las tipologías 7 y 8, son concordantes con las relaciones casas/departamentos presentadas en la tabla XVI. Como se dijo anteriormente, estas tipologías se definen en el anexo A.

A continuación, en la tabla XXI se presentan los porcentajes del total de viviendas correspondientes a cada tipología.

Tabla XXI. Factor de expansión y porcentaje del total de viviendas de cada tipología para cada año. Fuente: elaboración propia.

Año	Factor de expansión		Tipología de las viviendas							
	Casas	Deptos.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1999	0,947	1,288	22,0%	5,3%	6,1%	2,7%	27,6%	16,4%	11,5%	8,5%
2000	0,941	1,323	21,8%	5,3%	6,0%	2,7%	27,4%	16,3%	11,8%	8,7%
2001	0,938	1,340	21,8%	5,3%	6,0%	2,7%	27,3%	16,2%	11,9%	8,8%
2002	0,927	1,397	21,5%	5,2%	5,9%	2,7%	27,0%	16,0%	12,4%	9,2%
2003	0,918	1,449	21,3%	5,1%	5,9%	2,7%	26,7%	15,9%	12,9%	9,6%
2004	0,905	1,517	21,0%	5,1%	5,8%	2,6%	26,3%	15,7%	13,5%	10,0%
2005	0,892	1,586	20,7%	5,0%	5,7%	2,6%	26,0%	15,4%	14,1%	10,5%
2006	0,883	1,637	20,5%	4,9%	5,7%	2,6%	25,7%	15,3%	14,6%	10,8%
2007	0,873	1,693	20,2%	4,9%	5,6%	2,5%	25,4%	15,1%	15,1%	11,2%
2008	0,865	1,735	20,1%	4,8%	5,5%	2,5%	25,2%	15,0%	15,4%	11,5%
2009	0,863	1,748	20,0%	4,8%	5,5%	2,5%	25,1%	14,9%	15,6%	11,5%
2010	0,853	1,801	19,8%	4,8%	5,5%	2,5%	24,8%	14,8%	16,0%	11,9%
2011	0,843	1,855	19,6%	4,7%	5,4%	2,4%	24,5%	14,6%	16,5%	12,2%
2012	0,834	1,905	19,3%	4,7%	5,3%	2,4%	24,3%	14,4%	17,0%	12,6%
2013	0,826	1,947	19,2%	4,6%	5,3%	2,4%	24,0%	14,3%	17,3%	12,8%
2014	0,821	1,974	19,1%	4,6%	5,3%	2,4%	23,9%	14,2%	17,6%	13,0%
2015	0,816	2,005	18,9%	4,6%	5,2%	2,4%	23,7%	14,1%	17,8%	13,2%
2016	0,810	2,038	18,8%	4,5%	5,2%	2,3%	23,6%	14,0%	18,1%	13,5%
2017	0,804	2,070	18,6%	4,5%	5,1%	2,3%	23,4%	13,9%	18,4%	13,7%
2018	0,798	2,101	18,5%	4,5%	5,1%	2,3%	23,2%	13,8%	18,7%	13,9%
2019	0,792	2,132	18,4%	4,4%	5,1%	2,3%	23,1%	13,7%	19,0%	14,1%
2020	0,787	2,162	18,3%	4,4%	5,0%	2,3%	22,9%	13,6%	19,2%	14,3%
2021	0,782	2,188	18,1%	4,4%	5,0%	2,3%	22,8%	13,5%	19,5%	14,4%
2022	0,777	2,214	18,0%	4,4%	5,0%	2,3%	22,6%	13,4%	19,7%	14,6%
2023	0,773	2,240	17,9%	4,3%	4,9%	2,2%	22,5%	13,4%	19,9%	14,8%
2024	0,768	2,265	17,8%	4,3%	4,9%	2,2%	22,3%	13,3%	20,2%	15,0%
2025	0,763	2,290	17,7%	4,3%	4,9%	2,2%	22,2%	13,2%	20,4%	15,1%
2026	0,759	2,315	17,6%	4,2%	4,9%	2,2%	22,1%	13,1%	20,6%	15,3%
2027	0,754	2,339	17,5%	4,2%	4,8%	2,2%	22,0%	13,1%	20,8%	15,4%
2028	0,750	2,363	17,4%	4,2%	4,8%	2,2%	21,8%	13,0%	21,0%	15,6%
2029	0,746	2,386	17,3%	4,2%	4,8%	2,2%	21,7%	12,9%	21,2%	15,7%
2030	0,741	2,409	17,2%	4,2%	4,7%	2,2%	21,6%	12,8%	21,4%	15,9%
2031	0,738	2,428	17,1%	4,1%	4,7%	2,1%	21,5%	12,8%	21,6%	16,0%
2032	0,735	2,446	17,0%	4,1%	4,7%	2,1%	21,4%	12,7%	21,8%	16,1%
2033	0,731	2,464	17,0%	4,1%	4,7%	2,1%	21,3%	12,7%	21,9%	16,3%
2034	0,728	2,482	16,9%	4,1%	4,7%	2,1%	21,2%	12,6%	22,1%	16,4%
2035	0,725	2,500	16,8%	4,1%	4,6%	2,1%	21,1%	12,5%	22,3%	16,5%
2036	0,722	2,518	16,7%	4,0%	4,6%	2,1%	21,0%	12,5%	22,4%	16,6%
2037	0,718	2,535	16,7%	4,0%	4,6%	2,1%	20,9%	12,4%	22,6%	16,7%
2038	0,715	2,552	16,6%	4,0%	4,6%	2,1%	20,8%	12,4%	22,7%	16,8%
2039	0,712	2,569	16,5%	4,0%	4,6%	2,1%	20,7%	12,3%	22,9%	17,0%
2040	0,709	2,585	16,5%	4,0%	4,5%	2,1%	20,6%	12,3%	23,0%	17,1%
2041	0,707	2,599	16,4%	4,0%	4,5%	2,0%	20,6%	12,2%	23,1%	17,2%
2042	0,704	2,612	16,3%	3,9%	4,5%	2,0%	20,5%	12,2%	23,3%	17,2%
2043	0,702	2,626	16,3%	3,9%	4,5%	2,0%	20,4%	12,1%	23,4%	17,3%
2044	0,699	2,639	16,2%	3,9%	4,5%	2,0%	20,4%	12,1%	23,5%	17,4%

Año	Factor de expansión		Tipología de las viviendas							
	Casas	Deptos.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
2045	0,697	2,652	16,2%	3,9%	4,5%	2,0%	20,3%	12,1%	23,6%	17,5%
2046	0,695	2,665	16,1%	3,9%	4,4%	2,0%	20,2%	12,0%	23,7%	17,6%
2047	0,692	2,678	16,1%	3,9%	4,4%	2,0%	20,1%	12,0%	23,8%	17,7%
2048	0,690	2,691	16,0%	3,9%	4,4%	2,0%	20,1%	11,9%	23,9%	17,8%
2049	0,688	2,703	16,0%	3,9%	4,4%	2,0%	20,0%	11,9%	24,1%	17,8%
2050	0,685	2,715	15,9%	3,8%	4,4%	2,0%	19,9%	11,9%	24,2%	17,9%

Al multiplicar cada porcentaje de la tabla XXI por el número total de viviendas para cada año, se obtiene el total de viviendas para cada tipología. Al restar el total de viviendas para cada tipología de un cierto año con el año anterior, es posible calcular el número de edificaciones construidas por tipología para cada año. Ambos cálculos se muestran en las tablas XXII y XXIII.

Según datos del INN, el número de pisos promedio de los edificios en la Región Metropolitana es de 12 pisos y no se espera que el promedio cambie debido a los planes reguladores de las distintas comunas. De acuerdo a estudios anteriores [4], las cubiertas vegetales tienen efectos considerables solamente en los dos últimos pisos de los edificios (los otros pisos tienen efectos que son despreciables). Es por esta razón que las tipologías 7 y 8 están ponderadas por un factor 2/12.

Tabla XXII. Total de viviendas por tipología para cada año. Fuente: elaboración propia.

Año	Tipología de las viviendas							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1999	336.670	81.265	92.874	42.084	422.289	251.051	29.271	21.707
2000	341.329	82.390	94.160	42.666	428.132	254.525	30.698	22.764
2001	349.471	84.355	96.406	43.684	438.345	260.597	31.927	23.676
2002	353.580	85.347	97.539	44.198	443.499	263.661	34.075	25.269
2003	357.446	86.280	98.606	44.681	448.348	266.544	36.096	26.768
2004	362.758	87.562	100.071	45.345	455.011	270.505	38.874	28.828
2005	368.487	88.945	101.652	46.061	462.197	274.777	41.869	31.049
2006	372.982	90.030	102.892	46.623	467.835	278.129	44.219	32.792
2007	378.101	91.266	104.304	47.263	474.255	281.946	46.895	34.776
2008	382.157	92.245	105.423	47.770	479.344	284.971	49.016	36.349
2009	383.381	92.540	105.760	47.923	480.878	285.883	49.656	36.824
2010	388.825	93.854	107.262	48.603	487.707	289.943	52.502	38.934
2011	394.560	95.239	108.844	49.320	494.900	294.219	55.501	41.158
2012	400.160	96.590	110.389	50.020	501.925	298.395	58.429	43.329
2013	405.132	97.790	111.761	50.641	508.161	302.103	61.028	45.257
2014	408.466	98.595	112.680	51.058	512.343	304.589	62.771	46.550
2015	412.423	99.550	113.772	51.553	517.306	307.539	64.840	48.084
2016	416.672	100.576	114.944	52.084	522.636	310.708	67.062	49.731
2017	420.984	101.617	116.133	52.623	528.044	313.923	69.316	51.403
2018	425.358	102.673	117.340	53.170	533.531	317.185	71.603	53.099
2019	429.796	103.744	118.564	53.725	539.098	320.495	73.924	54.820

Año	Tipología de las viviendas							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
2020	434.299	104.831	119.807	54.287	544.746	323.852	76.278	56.566
2021	438.419	105.825	120.943	54.802	549.914	326.925	78.432	58.163
2022	442.604	106.836	122.098	55.326	555.163	330.045	80.620	59.786
2023	446.855	107.862	123.270	55.857	560.495	333.215	82.843	61.434
2024	451.173	108.904	124.462	56.397	565.911	336.435	85.101	63.108
2025	455.559	109.963	125.672	56.945	571.413	339.706	87.394	64.809
2026	460.015	111.038	126.901	57.502	577.001	343.028	89.723	66.536
2027	464.540	112.130	128.149	58.068	582.678	346.403	92.089	68.291
2028	469.137	113.240	129.417	58.642	588.444	349.831	94.493	70.073
2029	473.807	114.367	130.705	59.226	594.300	353.313	96.934	71.884
2030	478.550	115.512	132.014	59.819	600.250	356.849	99.414	73.723
2031	482.497	116.465	133.103	60.312	605.201	359.793	101.478	75.253
2032	486.495	117.430	134.206	60.812	610.216	362.774	103.568	76.803
2033	490.545	118.407	135.323	61.318	615.296	365.795	105.686	78.374
2034	494.648	119.398	136.455	61.831	620.442	368.854	107.831	79.964
2035	498.803	120.401	137.601	62.350	625.654	371.952	110.003	81.575
2036	503.012	121.417	138.762	62.877	630.933	375.091	112.204	83.207
2037	507.275	122.446	139.938	63.409	636.281	378.270	114.433	84.860
2038	511.594	123.488	141.129	63.949	641.698	381.490	116.691	86.535
2039	515.968	124.544	142.336	64.496	647.184	384.752	118.978	88.231
2040	520.399	125.614	143.558	65.050	652.742	388.056	121.294	89.949
2041	524.125	126.513	144.586	65.516	657.416	390.835	123.243	91.393
2042	527.892	127.422	145.625	65.986	662.140	393.643	125.212	92.854
2043	531.698	128.341	146.675	66.462	666.915	396.482	127.202	94.330
2044	535.546	129.270	147.737	66.943	671.741	399.351	129.214	95.821
2045	539.435	130.208	148.810	67.429	676.618	402.251	131.247	97.329
2046	543.365	131.157	149.894	67.921	681.548	405.182	133.302	98.853
2047	547.338	132.116	150.990	68.417	686.531	408.144	135.379	100.393
2048	551.353	133.085	152.097	68.919	691.568	411.138	137.478	101.950
2049	555.411	134.065	153.217	69.426	696.658	414.164	139.600	103.524
2050	559.513	135.055	154.348	69.939	701.803	417.223	141.745	105.114

Tabla XXIII. Número de viviendas construidas por tipología para cada año. Fuente: elaboración propia.

Año	Tipología de las viviendas							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1999	336.670	81.265	92.874	42.084	422.289	251.051	29.271	21.707
2000	4.659	1.125	1.285	582	5.843	3.474	1.426	1.058
2001	8.142	1.965	2.246	1.018	10.213	6.071	1.229	911
2002	4.110	992	1.134	514	5.155	3.065	2.149	1.593
2003	3.866	933	1.066	483	4.849	2.883	2.021	1.499
2004	5.312	1.282	1.465	664	6.663	3.961	2.777	2.060
2005	5.729	1.383	1.580	716	7.186	4.272	2.995	2.221
2006	4.495	1.085	1.240	562	5.638	3.352	2.350	1.743
2007	5.119	1.236	1.412	640	6.421	3.817	2.676	1.985
2008	4.057	979	1.119	507	5.089	3.025	2.121	1.573
2009	1.223	295	337	153	1.534	912	640	474

Año	Tipología de las viviendas							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
2010	5.444	1.314	1.502	681	6.829	4.060	2.846	2.111
2011	5.735	1.384	1.582	717	7.193	4.276	2.998	2.223
2012	5.601	1.352	1.545	700	7.025	4.176	2.928	2.172
2013	4.972	1.200	1.371	621	6.236	3.707	2.599	1.928
2014	3.334	805	920	417	4.182	2.486	1.743	1.293
2015	3.957	955	1.092	495	4.963	2.951	2.069	1.534
2016	4.250	1.026	1.172	531	5.330	3.169	2.222	1.648
2017	4.311	1.041	1.189	539	5.408	3.215	2.254	1.672
2018	4.374	1.056	1.207	547	5.486	3.262	2.287	1.696
2019	4.438	1.071	1.224	555	5.567	3.310	2.321	1.721
2020	4.503	1.087	1.242	563	5.648	3.358	2.354	1.746
2021	4.120	994	1.137	515	5.168	3.072	2.154	1.597
2022	4.185	1.010	1.154	523	5.249	3.121	2.188	1.623
2023	4.251	1.026	1.173	531	5.332	3.170	2.223	1.648
2024	4.318	1.042	1.191	540	5.416	3.220	2.258	1.674
2025	4.386	1.059	1.210	548	5.502	3.271	2.293	1.701
2026	4.455	1.075	1.229	557	5.588	3.322	2.329	1.727
2027	4.526	1.092	1.248	566	5.676	3.375	2.366	1.755
2028	4.597	1.110	1.268	575	5.766	3.428	2.403	1.782
2029	4.669	1.127	1.288	584	5.857	3.482	2.441	1.810
2030	4.743	1.145	1.308	593	5.949	3.537	2.480	1.839
2031	3.947	953	1.089	493	4.951	2.943	2.064	1.530
2032	3.998	965	1.103	500	5.015	2.982	2.090	1.550
2033	4.050	978	1.117	506	5.080	3.020	2.118	1.570
2034	4.102	990	1.132	513	5.146	3.059	2.145	1.591
2035	4.155	1.003	1.146	519	5.212	3.099	2.173	1.611
2036	4.209	1.016	1.161	526	5.279	3.139	2.201	1.632
2037	4.263	1.029	1.176	533	5.348	3.179	2.229	1.653
2038	4.319	1.042	1.191	540	5.417	3.220	2.258	1.674
2039	4.374	1.056	1.207	547	5.487	3.262	2.287	1.696
2040	4.431	1.070	1.222	554	5.558	3.304	2.317	1.718
2041	3.726	899	1.028	466	4.674	2.779	1.948	1.445
2042	3.766	909	1.039	471	4.724	2.808	1.969	1.460
2043	3.807	919	1.050	476	4.775	2.839	1.990	1.476
2044	3.847	929	1.061	481	4.826	2.869	2.012	1.492
2045	3.889	939	1.073	486	4.878	2.900	2.033	1.508
2046	3.930	949	1.084	491	4.930	2.931	2.055	1.524
2047	3.973	959	1.096	497	4.983	2.962	2.077	1.540
2048	4.015	969	1.108	502	5.036	2.994	2.099	1.557
2049	4.058	980	1.120	507	5.090	3.026	2.122	1.574
2050	4.102	990	1.132	513	5.145	3.059	2.145	1.590

Una vez determinada la cantidad de viviendas construidas en cada año y su tipología correspondiente, es necesario calcular el gasto energético de cada vivienda. De esta forma, es posible obtener el gasto energético total hasta el año 2050, producto de la energía consumida en calefacción o aire acondicionado para alcanzar la temperatura de confort. Lo dicho anteriormente se hará mediante un software de modelación en el capítulo siguiente.

## CAPÍTULO 6: MODELACIÓN EN EL SOFTWARE DESIGNBUILDER

Para la obtención del gasto energético que tienen las distintas tipologías del parque de viviendas de la Región Metropolitana, se utilizó un software especializado en la simulación ambiental y energética llamado DesignBuilder. Este software permite evaluar aspectos tales como los niveles de confort, consumos de energía, emisiones de gases de efecto invernadero, etc. Además, integra el motor de cálculo “EnergyPlus”, el cual ha sido desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) y representa una de las herramientas de su tipo más avanzadas del mundo.

“EnergyPlus” permite desarrollar simulaciones dinámicas complejas en tiempo real, utilizando archivos de datos climáticos horarios recomendados por el DOE, los cuales han sido proporcionados por la base de datos internacional ASHRAE [21] (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Adicionalmente, este motor de cálculo considera los efectos de las cubiertas vegetales que no se ven reflejados en el valor de la transmitancia térmica aportada por el sustrato [22], tales como:

- Intercambio de radiación de onda larga y onda corta con la vegetación.
- Efectos del follaje en la transferencia de calor por convección.
- Evapotranspiración de la tierra y de las plantas.
- Conducción y almacenamiento de calor en la capa de tierra.
- Efectos del sombreado producido por la vegetación.

Debido a lo anteriormente mencionado, un análisis utilizando el método de los grados-día no permite capturar los distintos efectos y beneficios aportados por las cubiertas vegetales.

Es importante mencionar que de acuerdo a estudios anteriores [4], las cubiertas vegetales tienen efectos considerables solamente en los dos últimos pisos (los otros pisos tienen efectos que son despreciables). Es por esto que las tipologías 7 y 8, en vez de modelarse como viviendas de un piso, se modelaron como viviendas de 2 pisos (con la finalidad de capturar el efecto de las cubiertas en su totalidad) y luego el resultado se dividirá en 2 para tener una mejor aproximación del consumo energético.

En este capítulo se explicará el procedimiento seguido para modelar las tipologías del parque de viviendas de la Región Metropolitana y se detallarán los supuestos adoptados para obtener resultados más representativos para la realidad de la zona estudiada.



## 6.1. Explicaciones generales de los modelos

Utilizando el software DesignBuilder, se realizaron un total de 48 modelos (dimensiones y materiales de la envolvente se detallan en los anexos A y B), los cuales se dividen de la siguiente forma:

- 8 modelos sin considerar ninguna reglamentación térmica (1 para cada tipología).
- 8 modelos considerando la reglamentación térmica del año 2000 (1 para cada tipología).
- 8 modelos considerando la reglamentación térmica del año 2007 (1 para cada tipología).
- 8 modelos sin considerar ninguna reglamentación térmica, utilizando cubiertas vegetales (1 para cada tipología).
- 8 modelos considerando la reglamentación térmica del año 2000, utilizando cubiertas vegetales (1 para cada tipología).
- 8 modelos considerando la reglamentación térmica del año 2007, utilizando cubiertas vegetales (1 para cada tipología).

Para evaluar el efecto que tiene la implementación de los techos vegetales en las distintas viviendas, solo se agrega una capa adicional a las cubiertas y no se modifican los materiales de las viviendas construidas antes del 2007. Además, se consideró un máximo de superficies de ventanas correspondientes al 25% (tipologías 1, 2, 3, 4, 5 y 6) y 80% (tipologías 7 y 8) del área total de la superficie de muros de la envolvente, de tal forma de cumplir con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones [13].

DesignBuilder permite al usuario configurar distintos datos tales como zona climática, humedad del ambiente, condición de lluvia, horas de sol, velocidad del viento, temperaturas medias de la localidad, tipo de edificio, actividad de los ocupantes, tipo de iluminación, entre muchas otras variables. En este estudio, se mantendrán los valores por defecto y solamente se modificarán las variables que se especifiquen en las páginas siguientes. Todos los cambios efectuados fueron consultados y aprobados por el Ingeniero de proyectos, Diego Escalona K., trabajador de la Unidad de Gestión Energética y Ambiental del IDIEM (Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales), el cual es un centro de ingeniería y tecnología dependiente de la Universidad de Chile.

## 6.2. Ubicación de los modelos

Las modelaciones se realizan para viviendas ubicadas en Santiago, específicamente en la comuna de Pudahuel. Esto debido a que el Departamento de Energía de los Estados Unidos posee los datos climáticos de una estación ubicada en esa zona [21]. Algunas características de la localidad se muestran en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. Características climáticas de la comuna de Pudahuel. Fuente: ASHRAE [21].

Latitud [°]	-33,38
Longitud [°]	-70,78
Altura sobre el nivel del mar [m]	474,00
Presión estándar [kPa]	95,80
Zona horaria	(GMT - 04:00) Santiago

## 6.3. Pestaña de actividad

En la plantilla de actividad se definen rasgos tales como el tipo de uso que se le da al edificio, el nivel de ocupación, ganancias por el uso de equipos, condición metabólica de los habitantes, las temperaturas de confort límites, los horarios de uso de la vivienda, etc. En la tabla XXV, se muestran las modificaciones que aquí se realizaron.

Tabla XXV. Datos modificados en la pestaña de actividad.

Densidad [personas/m <sup>2</sup> ]	0,12
Condición metabólica	Dwelling
Factor de actividad	0,90
Temperatura de confort mínima [°C]	18,00
Temperatura de confort máxima [°C]	24,00

En esta sección, también se definieron los horarios en los cuales se ocuparán las viviendas y su porcentaje de ocupación, por lo que se creó un horario de ocupación llamado “residencial”. Esta modificación se hace principalmente para definir los horarios en los que se desea tener una temperatura de confort debido que los habitantes se encuentran en la vivienda, además de saber cuándo se utilizan los artefactos eléctricos. Esto queda reflejado en la ilustración 21 y tabla XXVI.

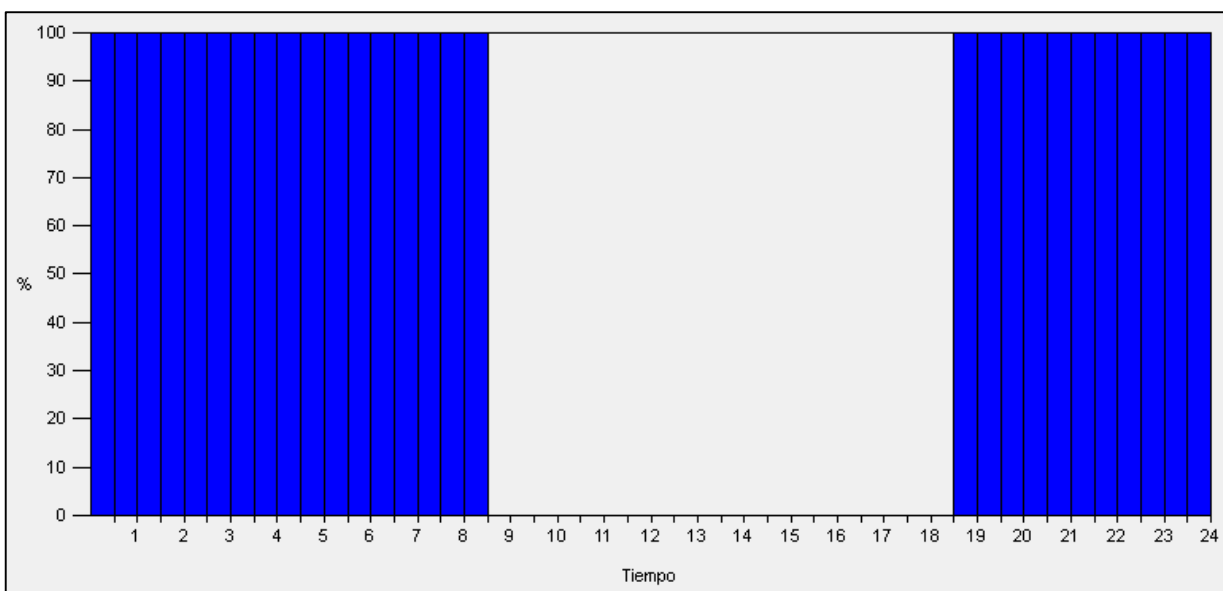


Ilustración 21. Horarios de ocupación "residencial".

Tabla XXVI. Horarios de ocupación de las viviendas.

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Enero	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Febrero	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Marzo	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Abril	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Mayo	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Junio	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Julio	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Agosto	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Septiembre	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Octubre	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Noviembre	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.
Diciembre	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	24 hrs.	24 hrs.

De lunes a viernes se considera que los ocupantes abandonan las viviendas entre las 08:30 horas y las 18:30 horas debido al trabajo y diversas actividades. Durante el fin de semana, los habitantes permanecen en sus hogares durante todo el día y hay más actividad. En algunos países como Estados Unidos, las personas van a sus trabajos y la vivienda queda desocupada. En Chile generalmente alguien queda: Un familiar, un adulto mayor, una empleada doméstica, etc., por lo que se espera que en el horario de trabajo haya algún tipo de consumo energético, lo cual se despreciará para efectos de este trabajo.

#### **6.4. Pestañas de aberturas, iluminación y HVAC (Heating, ventilating and air conditioning)**

En la pestaña de aberturas es posible escoger las características de las ventanas, puertas, marcos divisores, persianas, etc. En esta sección se modificaron solamente los tipos de vidrio para cumplir con el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (tabla XVIII). Lo dicho anteriormente se detalla en el anexo B.

La pestaña de iluminación permite definir las características de los sistemas de iluminación artificial que tendrá la vivienda. Esto genera ganancias térmicas debido al calor liberado por las ampollitas del hogar. Los valores considerados fueron los recomendados por DesignBuilder (valores por defecto).

En la pestaña de HVAC (Heating, ventilating and air conditioning) se modifican los sistemas de calefacción y refrigeración, eligiendo equipos que funcionan con electricidad y tienen una eficiencia del 100%. Esto se hace debido a que es necesario saber efectivamente cuantos kilowatts-hora (kWh) de energía se necesitan en cada una de las viviendas del parque para alcanzar la temperatura de confort, sin importar el tipo de equipo, combustible o eficiencia que se tenga.

#### **6.5. Pestaña de cerramientos**

Los cerramientos corresponden principalmente a las características de los elementos constructivos de la vivienda. Esto se refiere, en particular, a la envolvente térmica (muros, techos, tabiquería interior, etc). Para este estudio, se utilizaron los valores predeterminados para los cerramientos y se modificaron los materiales y espesores de los elementos de la envolvente, lo cual se detalla en el anexo B. Además, se utilizó un valor de 2,2 renovaciones de aire por hora (previa consulta a Diego Escalona), lo cual fue validado en el “Simposio internacional de arquitectura e ingeniería de envolventes de edificios” [23].

#### **6.6. Modelación del techo vegetal**

En la modelación del techo o cubierta vegetal, es necesario crear un material tipo sustrato y activar la pestaña llamada cubierta verde. Aquí es necesario rellenar variados parámetros los cuales se explican a continuación [22].

- Altura de la vegetación [m]: Altura media de las plantas que conforman la vegetación de la cubierta vegetal.
- Índice de área de hojas (LAI): Corresponde al área de hojas proyectada por unidad de área de suelo o sustrato. Es un valor adimensional.
- Reflectividad de las hojas: Fracción de radiación solar incidente que es reflejada por las superficies de las hojas. Se recomiendan valores entre 0,1 y 0,4.

- Emisividad de las hojas: Tasa entre la radiación térmica emitida desde la superficie de una hoja de la vegetación y la radiación emitida desde un cuerpo negro ideal a la misma temperatura. Se recomiendan valores entre 0,8 y 1,0 (donde 1,0 representa un cuerpo negro ideal).
- Resistencia estómic mínima [s/m]: Resistividad de las plantas al paso de la humedad. Mientras más bajo sea este valor, mayor será la tasa de evapotranspiración de la vegetación. Se recomiendan valores entre 50 y 300.
- Máximo contenido volumétrico de humedad en saturación: Depende de cada sustrato.
- Mínimo contenido volumétrico de humedad residual: Depende de cada sustrato.
- Contenido volumétrico de humedad inicial: Contenido volumétrico de humedad del sustrato al empezar la simulación. Este valor va variando automáticamente durante la simulación debido a la evapotranspiración superficial, irrigación y precipitaciones.

De acuerdo a lo expuesto por Paulo Tabares [23], las variables que más influyen en la modelación de las cubiertas vegetales son el índice de área de hojas (LAI) y la resistencia estómic mínima. Es por esta razón que se utilizaron los valores recomendados por él para un suelo extensivo. Estos valores se muestran en el Anexo B.

## 6.7. Resultados de la modelación

Al simular el consumo energético de las distintas tipologías de viviendas de la Región Metropolitana, con la finalidad de alcanzar la temperatura de confort (18°C en invierno y 24°C en verano), se obtienen diversos resultados tales como:

- Energía necesaria para calefacción en invierno.
- Energía necesaria para refrigeración en verano.
- Flujo de calor por los distintos elementos (vidrios, muros, techos).

Esto permite realizar una comparación y así, observar en cuánto se reduce efectivamente el consumo de energía durante el año. A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos. Tablas con resultados más detallados de las ganancias y pérdidas térmicas se pueden encontrar en el anexo C.

### 6.7.1. Consumo energético para calefacción y refrigeración

En las siguientes ilustraciones, se puede ver una comparación entre el consumo de energía dedicada a la calefacción y a la refrigeración para cada tipología en función del año en el que fue construida.

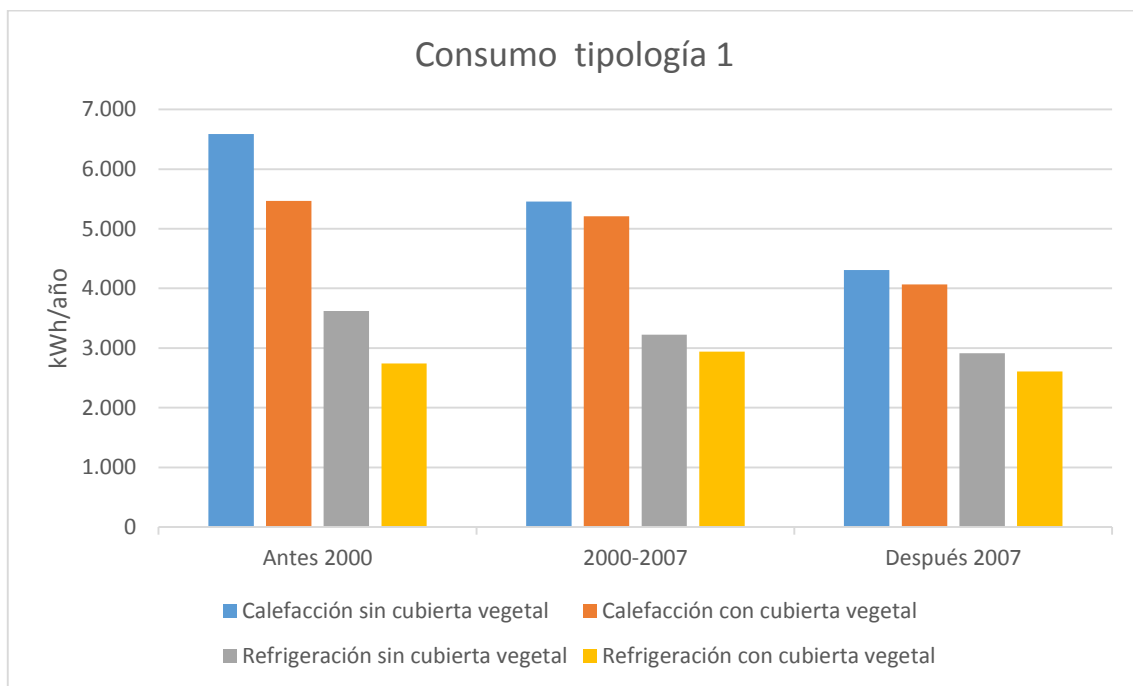
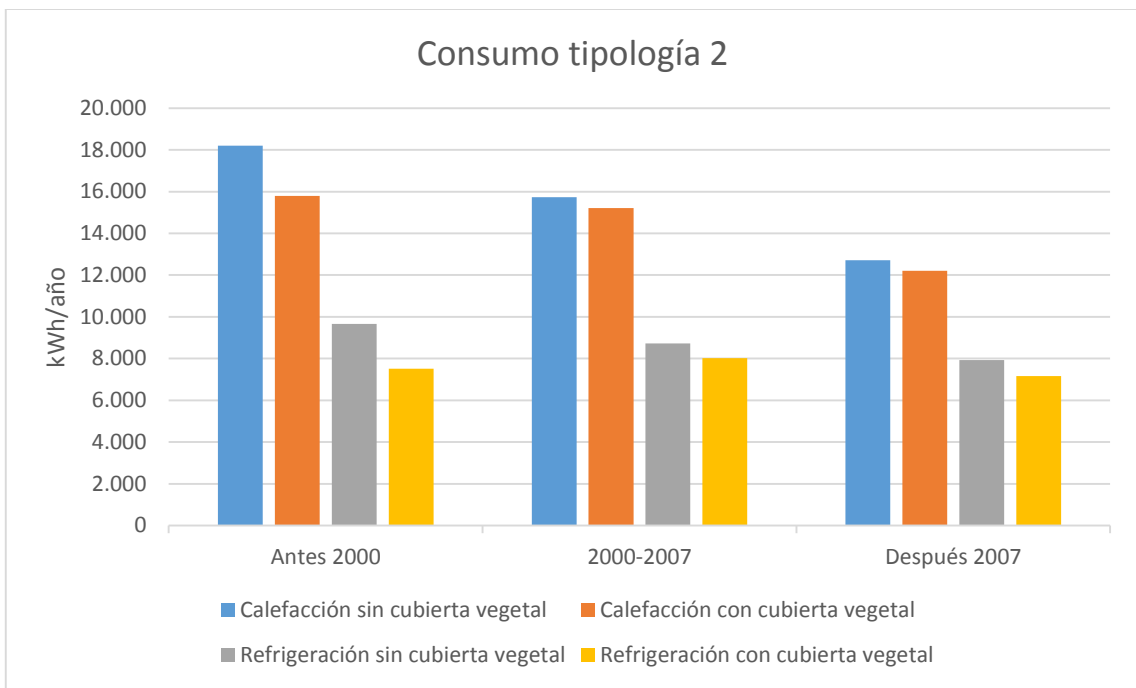
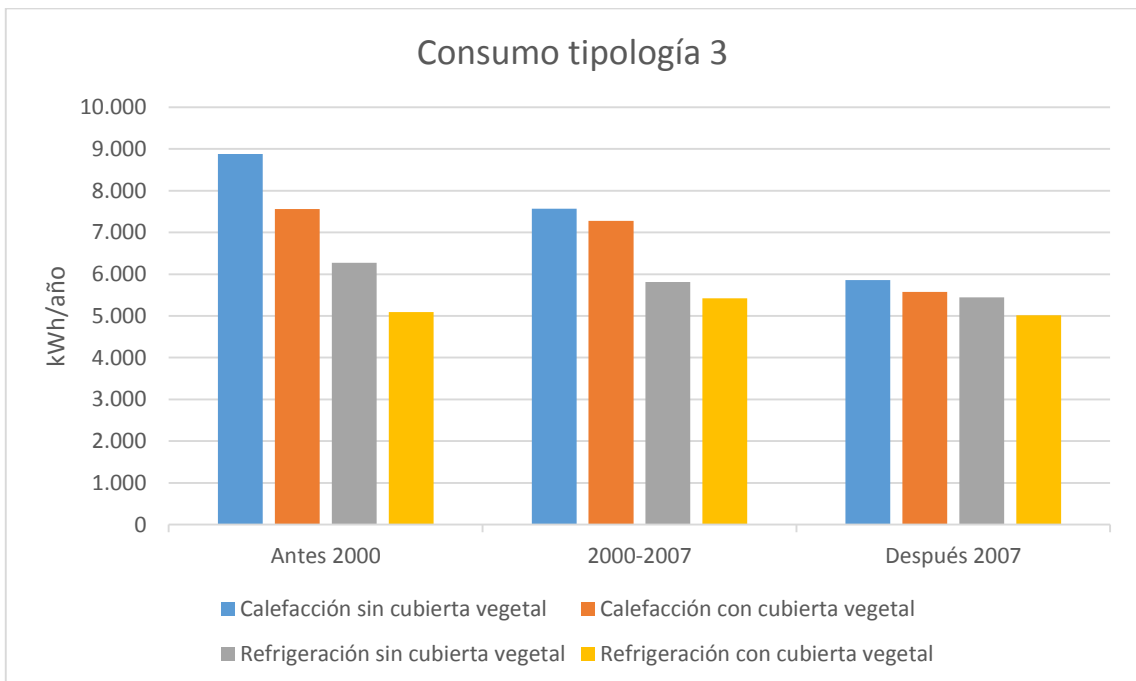


Ilustración 22. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 1.



*Ilustración 23. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 2.*



*Ilustración 24. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 3.*

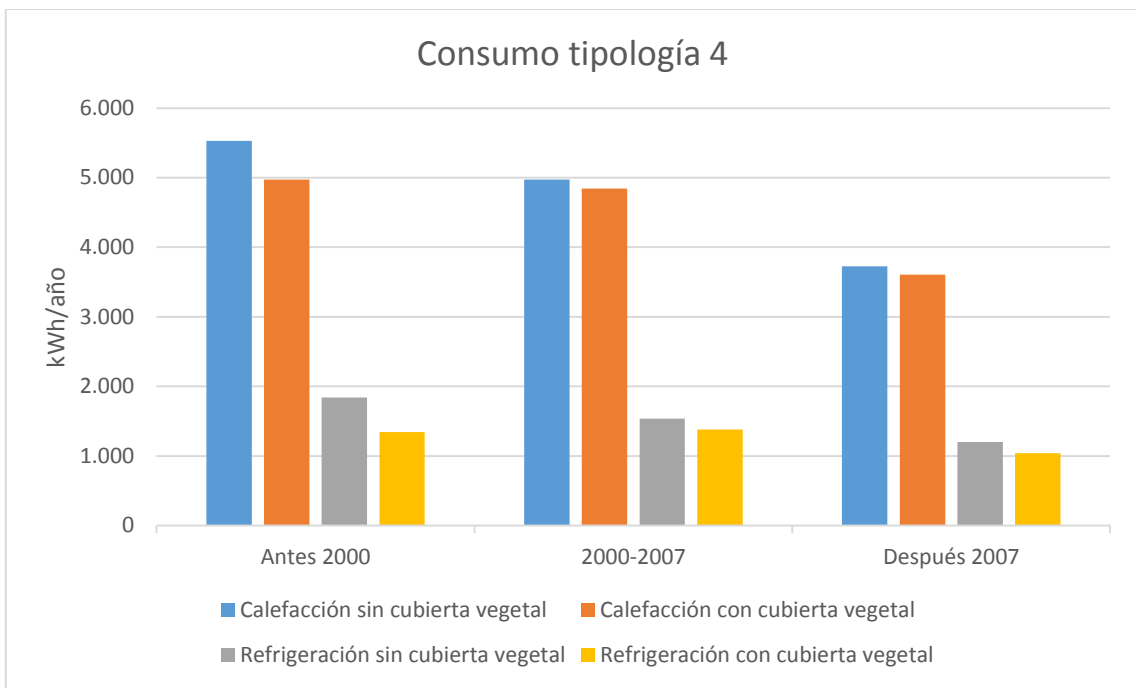


Ilustración 25. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 4.

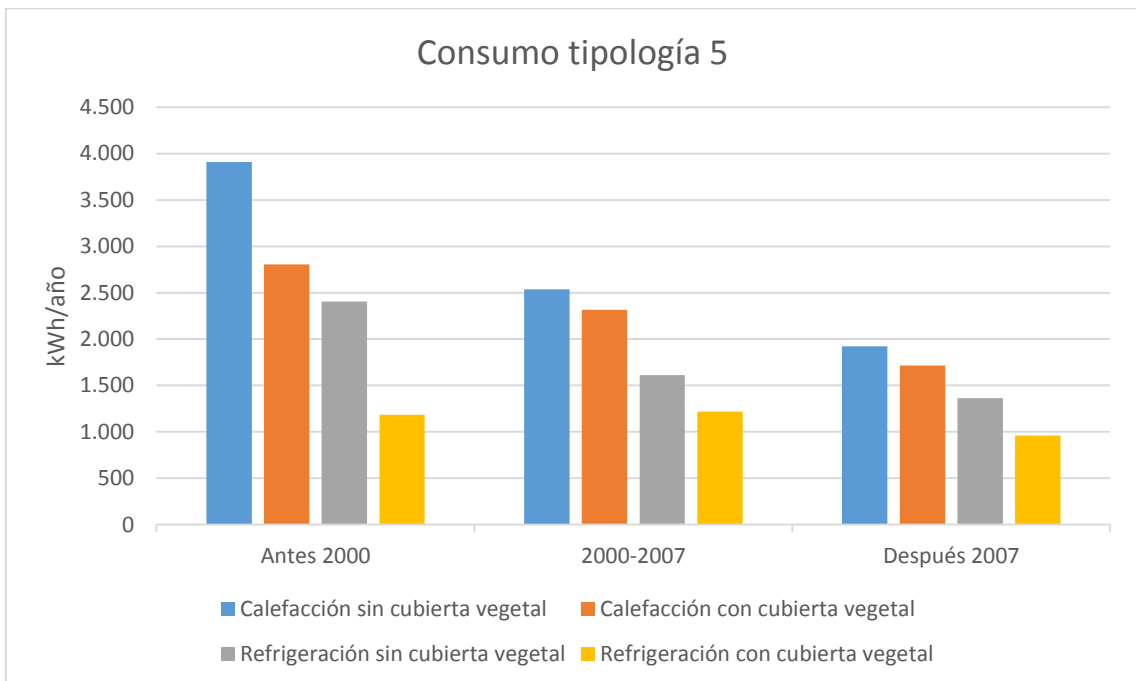


Ilustración 26. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 5.



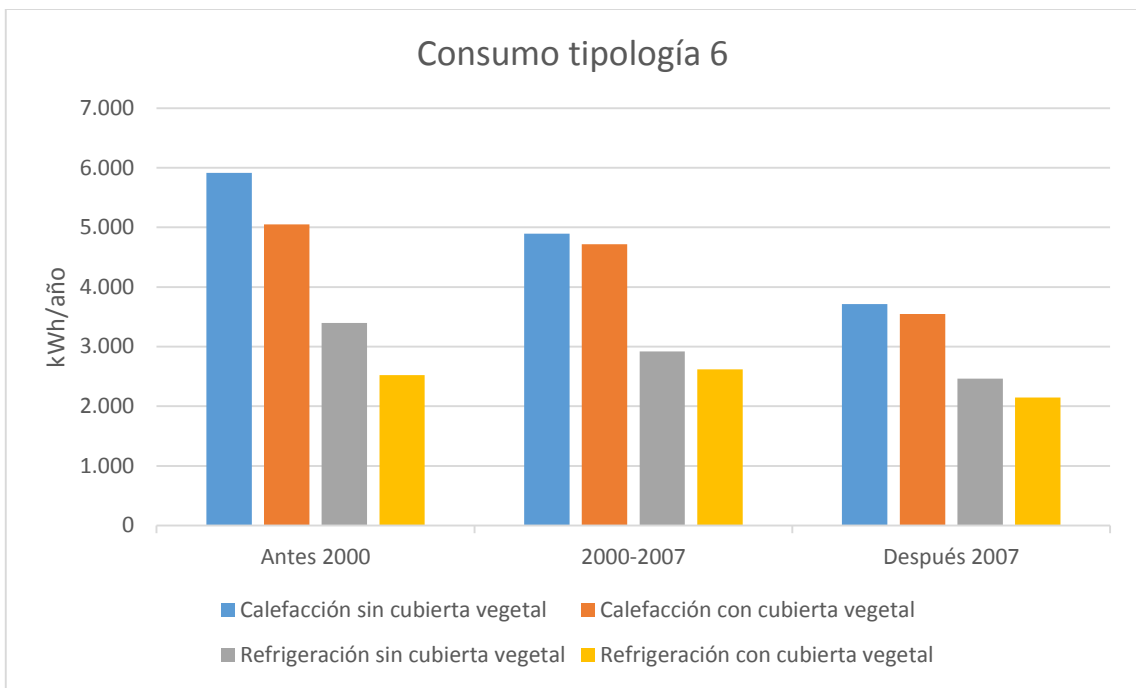


Ilustración 27. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 6.

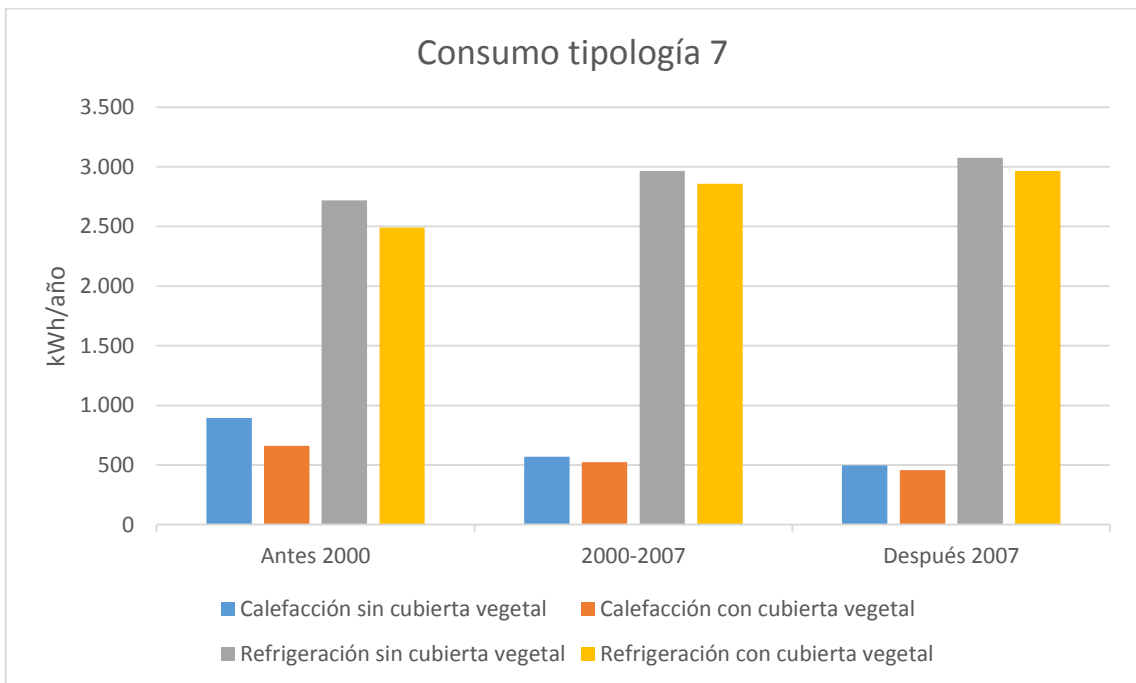
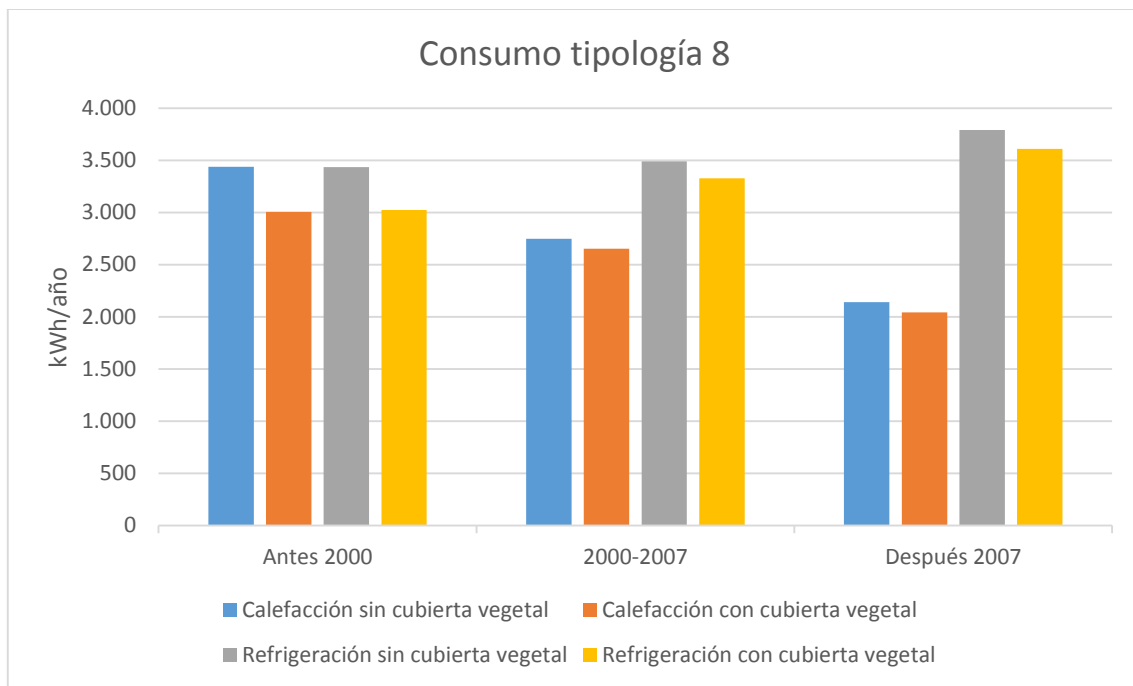


Ilustración 28. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 7.



*Ilustración 29. Consumo energético para calefacción y refrigeración, tipología 8.*

En las ilustraciones anteriores, es posible ver una variación tanto en el consumo de energía de calefacción como de refrigeración. En el capítulo siguiente se verá con más detalle el ahorro energético que se obtiene a través de la implementación de cubiertas vegetales, además de un balance económico para estudiar la factibilidad de aplicar esta tecnología constructiva en el parque de viviendas de la Región Metropolitana actual y futuro.

## **CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y BALANCE ECONÓMICO**

A lo largo de este trabajo, se han obtenido un gran número de datos y resultados que permiten proyectar el consumo energético que tendrá el parque de viviendas de la Región Metropolitana año a año hasta el 2050, con la finalidad de alcanzar artificialmente (a través de calefacción o refrigeración) la temperatura de confort.

A medida que las ciudades y pueblos vayan creciendo en población y en número de viviendas, es necesaria la utilización y el fomento de tecnologías constructivas que consuman menos energía, que sean amigables con el medio ambiente y con el entorno. Una solución atractiva es la implementación de cubiertas vegetales, ya que como se puede observar, reducen considerablemente el gasto energético, además de entregar múltiples beneficios que no se pueden materializar en dinero. Sin embargo, esta tecnología aun no es muy utilizada en el país, por lo que es necesaria una inversión inicial alta, lo que puede provocar el desinterés de familias de escasos recursos.

Por medio de modelaciones en el software DesignBuilder, se encontró el gasto de cada tipología en función de su año de construcción. Estos datos, junto con la proyección del número de hogares del parque de viviendas de la Región Metropolitana, permiten calcular aproximadamente el gasto energético año a año, además de la disminución por la utilización de cubiertas vegetales.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados previamente obtenidos, además de un balance económico para estudiar la real posibilidad de implementar cubiertas vegetales en las viviendas actuales y futuras de la Región Metropolitana.

## 7.1. Análisis de resultados

### 7.1.1. Variación del consumo energético por tipología.

A continuación, se hace un análisis comparativo de los resultados obtenidos para las distintas tipologías del parque de viviendas (en función de su año de construcción), considerando el caso base (sin cubiertas vegetales) y el caso de estudio (con cubiertas vegetales). Las tablas XXVII y XXVIII muestran la variación en el consumo energético para calefacción, refrigeración y el total anual.

Tabla XXVII. Variación del consumo energético con respecto al caso base.

Tipología	Variación del consumo energético con respecto al caso base al utilizar cubiertas vegetales					
	Calefacción			Refrigeración		
	Antes del 2000	2000-2007	Después del 2000	Antes del 2000	2000-2007	Después del 2000
1	-17%	-5%	-6%	-24%	-9%	-11%
2	-13%	-3%	-4%	-22%	-8%	-10%
3	-15%	-4%	-5%	-19%	-7%	-8%
4	-10%	-3%	-3%	-27%	-10%	-13%
5	-28%	-9%	-11%	-51%	-24%	-30%
6	-15%	-4%	-4%	-26%	-10%	-13%
7	-26%	-8%	-8%	-8%	-4%	-4%
8	-13%	-3%	-5%	-12%	-5%	-5%

Tabla XXVIII. Variación total del consumo energético con respecto al caso base.

Tipología	Variación total del consumo energético al utilizar cubiertas vegetales		
	Antes del 2000	2000-2007	Después del 2000
1	-20%	-6%	-8%
2	-16%	-5%	-6%
3	-16%	-5%	-6%
4	-14%	-4%	-6%
5	-37%	-15%	-19%
6	-19%	-6%	-8%
7	-13%	-4%	-4%
8	-12%	-4%	-5%

Se puede ver de la tabla XXVII que en el 100% de los casos en los cuales se implementaron cubiertas vegetales, hubo una disminución en el requerimiento energético en calefacción y en refrigeración. Estas disminuciones son mayores cuando se tiene una condición de verano (es necesario el uso de refrigeración) debido a que gran parte de la radiación solar es absorbida por la vegetación para el proceso de fotosíntesis, reduciendo considerablemente el flujo de calor desde el exterior hacia el interior de la vivienda.

En la tabla XXVIII se puede observar que los beneficios de las cubiertas vegetales son mayores en las tipologías 1 y 5 (casas de un piso) que en las tipologías 2, 3, 4 y 6 (casas de 2 pisos). Esto se puede deber principalmente al volumen encerrado bajo el

techo de la vivienda. A medida que las casas son más bajas, más efectivas son las medidas de eficiencia energética que se tomen en la techumbre. En las tipologías 7 y 8 (departamentos), se puede ver que hay una disminución en el consumo energético, sin embargo, esta es menor que en las otras tipologías. Esto puede deberse a la gran superficie que ocupan las ventanas y al efecto invernadero que produce el vidrio. Estos tienen la propiedad de dejar pasar a través de ellos la radiación solar (de baja longitud o de onda corta) y refleja la radiación de alta longitud o de onda larga (radiación infrarroja emitida por los objetos). Esto es beneficioso durante el invierno ya que aumenta la temperatura interior de la vivienda sin incurrir en gastos adicionales, pero si no se trata de una manera adecuada, se pueden tener temperaturas interiores bastante altas, lo cual conlleva a un gasto adicional en refrigeración. En las ilustraciones 28 y 29, se puede ver que el gasto en refrigeración aumenta con las distintas reglamentaciones térmicas, debido a lo comentado anteriormente.

Adicionalmente, se puede ver claramente que la implementación de cubiertas vegetales en las viviendas construidas antes del 2000 trae consigo una mayor disminución en el requerimiento energético que en las viviendas construidas entre los años 2000 y 2007 y las viviendas construidas después del 2007. Esto es producto de que una pequeña modificación en la techumbre de una vivienda sin ningún tipo de aislación tiene resultados más notorios que una modificación en viviendas que están altamente aisladas, ya que una parte importante del flujo de calor ocurre a través de la cubierta. Las viviendas construidas entre el 2000 y el 2007 tienen una disminución porcentual menor que las construidas después del año 2007. Esto es producto de que al estar mal aislados los muros de la envolvente, una aislación adicional en la techumbre fomenta que el flujo de calor pase a través de las paredes que limitan con el exterior del hogar.

Finalmente, en las tablas XXIX y XXX se observa el ahorro energético por tipología y por año de construcción, para los requerimientos de calefacción, refrigeración y consumo anual total.

*Tabla XXIX. Ahorro energético por tipología y por año de construcción debido a la implementación de cubiertas vegetales.*

Tipología	Variación del consumo energético con respecto al caso base al utilizar cubiertas vegetales					
	Calefacción [kWh/año]			Refrigeración [kWh/año]		
	Antes del 2000	2000-2007	Después del 2000	Antes del 2000	2000-2007	Después del 2000
1	1.124	250	244	880	282	306
2	2.405	520	511	2.145	708	776
3	1.316	292	284	1.183	391	431
4	560	129	122	494	154	160
5	1.104	220	206	1.219	393	404
6	862	180	166	875	303	319
7	234	43	42	228	107	110
8	434	96	98	410	164	183

Tabla XXX. Ahorro energético anual por tipología y por año debido a la implementación de cubiertas vegetales.

Tipología	Variación total del consumo energético al utilizar cubiertas vegetales [kWh/año]		
	Antes del 2000	2000-2007	Después del 2000
1	2.004	532	550
2	4.549	1.228	1.287
3	2.500	683	716
4	1.055	283	282
5	2.323	614	610
6	1.737	483	485
7	462	150	152
8	844	261	281

### 7.1.2. Flujos de calor a través de los elementos de la envolvente

Mediante la implementación de cubiertas vegetales, la distribución del flujo de calor a través de los elementos de la envolvente se redistribuye, encontrándose resultados poco intuitivos.

Como se puede ver entre las ilustraciones 61 y 68 del anexo C, en las viviendas construidas antes del año 2000 que pertenecen a las tipologías 7 y 8 (departamentos), se observa que al agregar una cubierta vegetal en la zona superior del edificio, disminuyen las pérdidas de calor a través del techo, tal y como se esperaba. Sin embargo, para todas las viviendas de las tipologías restantes, al agregar una cubierta vegetal, el flujo de calor a través de la techumbre aumenta. Esto se debe a que producto de la evapotranspiración de la vegetación, la superficie superior del techo está más fría, lo que favorece el flujo desde el interior hacia el exterior.

### 7.1.3. Demanda energética

Como puede esperarse, la demanda energética de calefacción y refrigeración de las viviendas de la Región Metropolitana tiende a aumentar a medida que se vayan construyendo más edificios y casas. Esto puede observarse claramente en las ilustraciones siguientes.

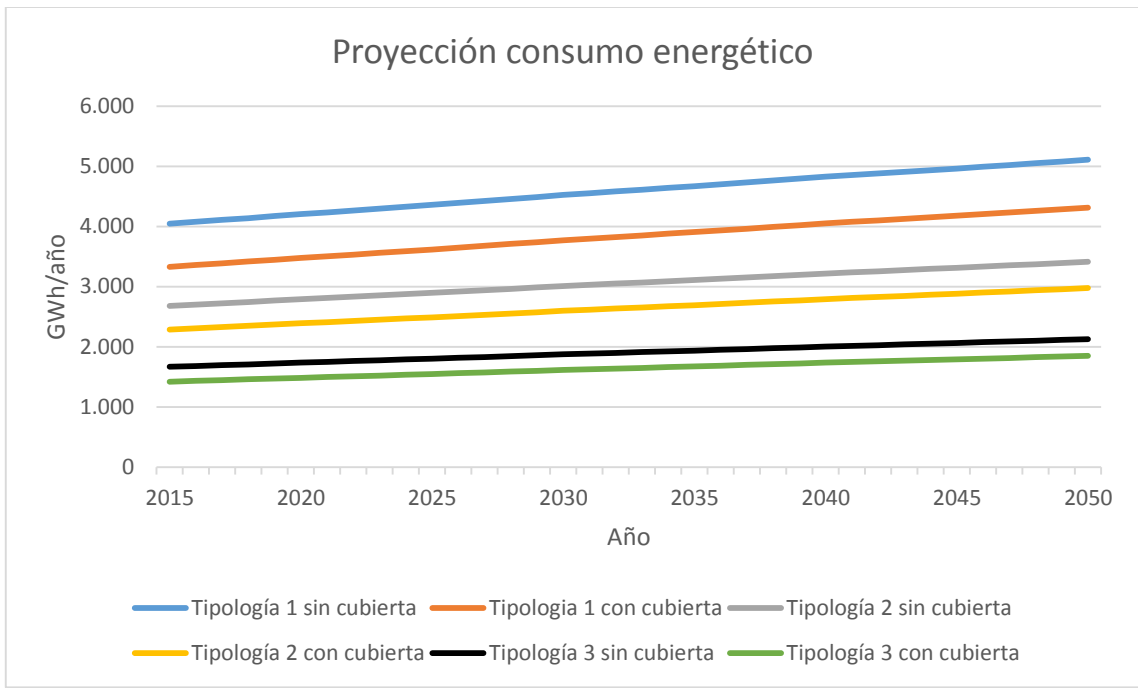


Ilustración 30. Proyección consumo energético tipologías 1, 2 y 3.

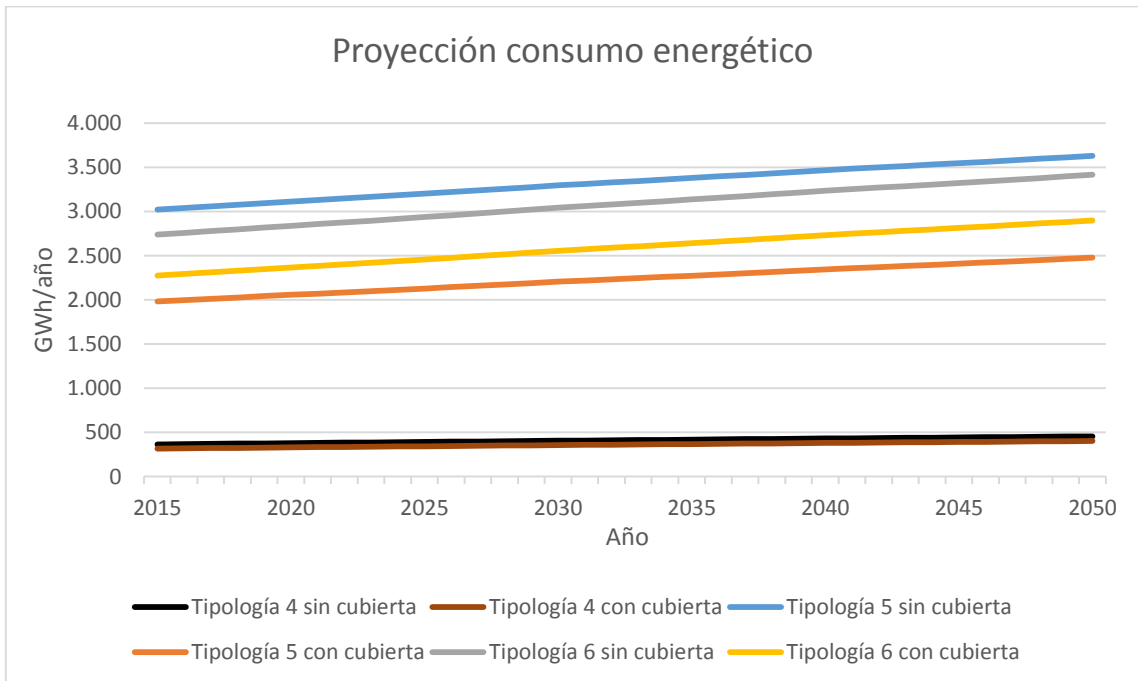


Ilustración 31. Proyección consumo energético tipologías 4, 5 y 6.

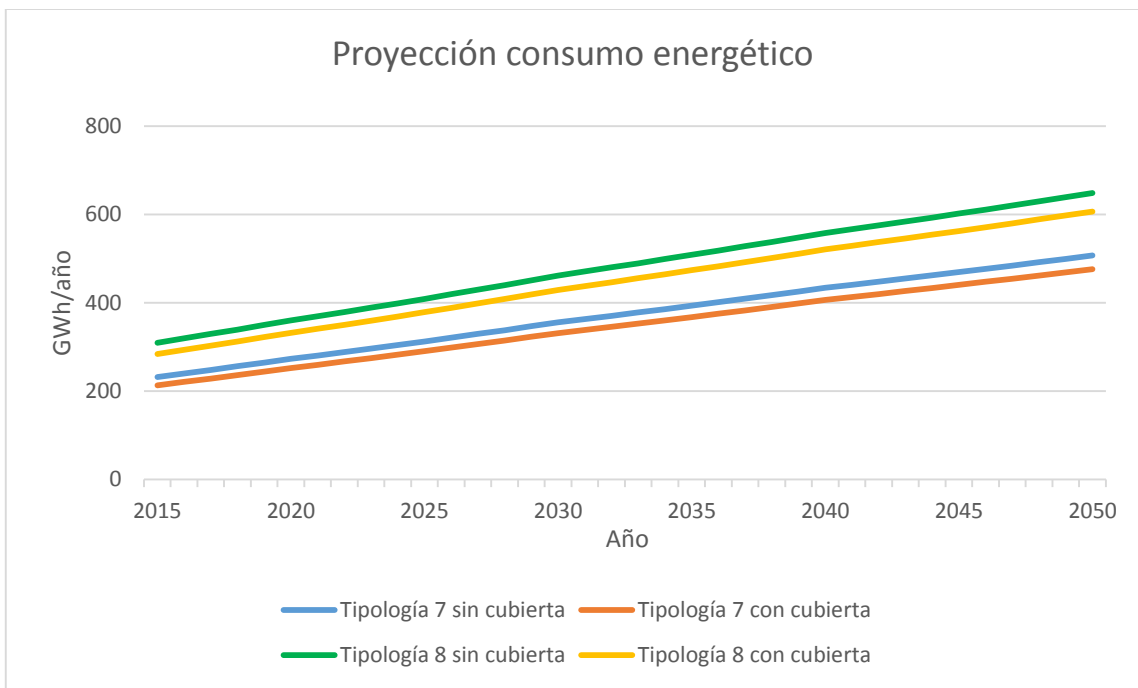


Ilustración 32. Proyección consumo energético tipologías 7 y 8.

Como se comentó anteriormente, la implementación de cubiertas vegetales genera una disminución en el requerimiento energético total (calefacción y refrigeración) de todas las viviendas estudiadas.

En la siguiente sección, se realizará un balance económico para evaluar si efectivamente es conveniente la implementación de cubiertas vegetales en edificaciones tipo viviendas.



## 7.2. Balance económico

Una vez que se conoce el ahorro energético provocado por la implementación de cubiertas o techos vegetales, es importante detallar cuánto es el precio de la ejecución de estos proyectos, además de saber si efectivamente existe un ahorro económico a lo largo del tiempo.

Para estimar el ahorro económico que implica la implementación de cubiertas vegetales en el parque de viviendas de la Región Metropolitana, es necesario analizar distintas variables involucradas, tales como la distribución del uso de los distintos combustibles (leña, gas licuado, gas natural, kerosene y electricidad), el precio de la energía a lo largo del tiempo, distintos escenarios de penetración de la medida, etc.

A continuación, se explicará el procedimiento para obtener los gastos y los beneficios anuales que tiene la implementación de cubiertas vegetales en las viviendas de la Región Metropolitana.

### 7.2.1. Distribución del uso de combustibles

Es conocido que las familias ocupan distintos tipos de combustibles para calefaccionar y para enfriar las viviendas. De acuerdo al estudio realizado por la Fundación Chile [18] (utilizando datos de la Corporación de Desarrollo Tecnológico [15]), los principales combustibles utilizados para calefacción son la leña, el gas licuado de petróleo (GLP), el gas natural (GN), el kerosene y la electricidad. Para la refrigeración de la vivienda, la energía utilizada solamente es electricidad. La distribución del uso de estas fuentes de energía se puede apreciar en la tabla XXXI (para más detalle, ver anexo C). Asumiendo que la distribución varía de forma proporcional año a año, se obtienen las ilustraciones 33 y 34, las cuales muestran el porcentaje de utilización por combustible a lo largo del periodo de evaluación.

Tabla XXXI. Porcentaje de uso de combustible para calefacción. Fuente: [15], [18].

	Combustible	Año				
		2013	2020	2030	2040	2050
Tipologías 1, 2, 3, 4, 5 y 6	Leña	33%	27%	23%	20%	20%
	GLP	28%	24%	19%	22%	22%
	GN	13%	13%	13%	13%	13%
	Kerosene	23%	27%	31%	31%	31%
	Electricidad	3%	9%	13%	14%	14%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%
Tipologías 7 y 8	Leña	0%	0%	0%	0%	0%
	GLP	39%	22%	16%	20%	20%
	GN	30%	40%	40%	40%	40%
	Kerosene	26%	33%	29%	20%	20%
	Electricidad	5%	5%	15%	20%	20%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%

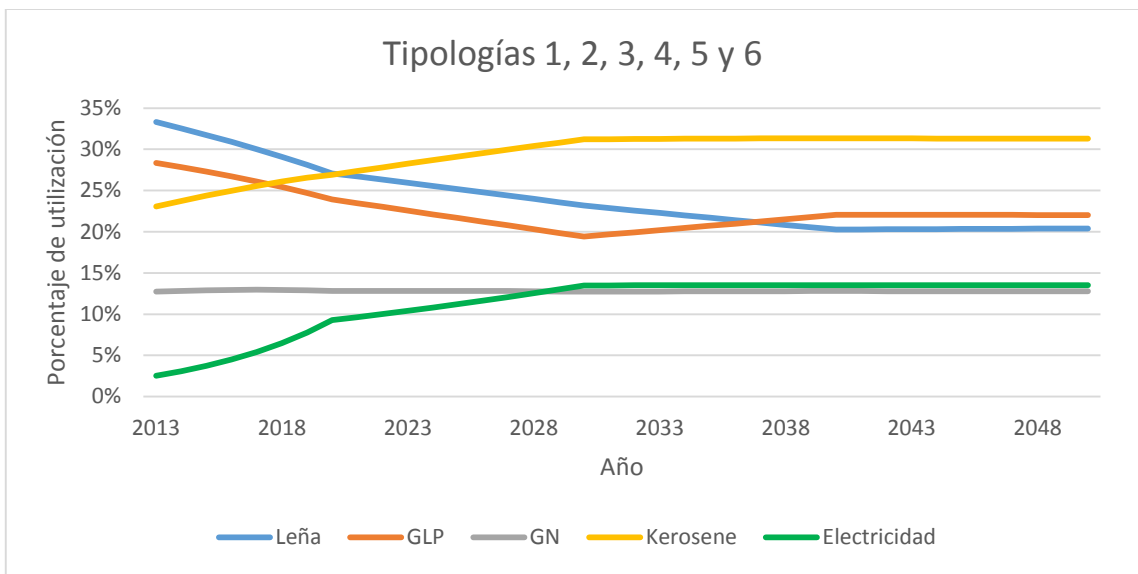


Ilustración 33. Porcentaje de utilización de los distintos combustibles para calefacción. Fuente: elaboración propia.

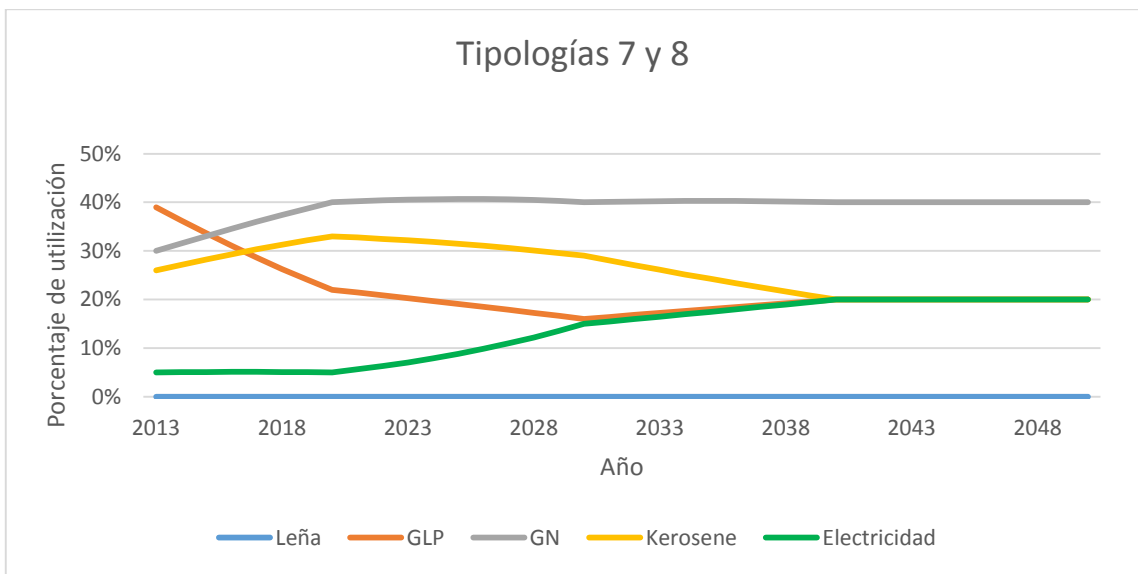


Ilustración 34. Porcentaje de utilización de los distintos combustibles para calefacción. Fuente: elaboración propia.

Se espera que disminuya el uso de la leña producto de las mayores restricciones en las zonas urbanas debido a la contaminación que genera. El gas licuado de petróleo reduce su participación ya que es desplazado por otros combustibles. El gas natural mantiene su porcentaje más o menos constante ya que se espera que no haya incentivos en menores precios. El kerosene aumenta un poco su consumo, especialmente en zonas urbanas por razones de precio y facilidad de uso (incorporación de estufas portátiles). Finalmente, se espera que aumente el consumo de electricidad por su facilidad de uso y por la incorporación al mercado de nuevas tecnologías de climatización, a pesar de tener un precio más elevado.

## 7.2.2. Proyección del precio de los combustibles

Históricamente, el precio de los combustibles ha ido aumentando, por lo tanto, el precio de la energía también. Es muy importante el considerar pronósticos de los precios futuros de los combustibles al analizar una medida de eficiencia energética, ya que es poco probable que éstos se mantengan, lo que puede llevar a tomar una decisión poco razonable o equivocada.

La mayoría de los precios de los combustibles que se usan en Chile están relacionados con el valor del barril de crudo y la variación del tipo de cambio. La electricidad no es el caso, ya que depende de factores tales como la hidrología del año, el costo de los combustibles, el plan de obras de generación de energía que se tenga, etc. Chile produce un alto porcentaje de energía eléctrica por vía termoeléctrica con gas licuado de petróleo o carbón.

De acuerdo al estudio realizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico [15], el cual se basa en datos entregados por la Comisión Nacional de Energía y por la consultora Purvin & Gertz, y tomando como base los precios del año 2015 presentados en la tabla XXXII, se obtienen los precios proyectados de las tablas LXIV y LXV, en el anexo C.5.

*Tabla XXXII. Precios de los combustibles al año 2015. Fuente: CDT [15].*

Combustible	Precio [UF/GWh]
Electricidad	5700
Gas licuado	3000
Kerosene	2200
Gas natural	4300
Leña seca	860

### **7.2.3. Precio de instalación de las cubiertas vegetales**

Las cubiertas vegetales son una tecnología bastante nueva en el país, y son pocas las personas que se dedican a la instalación y mantenimiento de estas. Una de las empresas conocidas en este rubro en el país es “VerdeActivo”, la cual realiza dos tipos de instalaciones de techos vegetales, según su Directora Ejecutiva.

Una de las opciones es instalar un sistema en obra por capas, la cual incluye una mantención semanal hasta lograr una cobertura del 80% y un sistema de riego por aspersión. Se utilizan plantas nativas o plantas de bajo consumo (para disminuir la frecuencia de riego al mínimo, lo cual es beneficioso para el clima de la Región Metropolitana) y el costo de mantención es similar al de un jardín común y corriente. Esta opción tiene un costo de entre 3 a 5 UF por metro cuadrado, lo cual depende en gran parte de los accesos que se tengan a la cubierta, la pendiente y la dificultad de la instalación.

La otra alternativa que se ofrece es la de un sistema pre cultivado llamado LiveRoof, la cual al momento de la instalación, asegura una cobertura del 80% y una mantención quincenal durante la primavera y verano y una mantención mensual durante otoño e invierno. Al ser un sistema pre cultivado y modular, permite un fácil intercambio de las palmetas de vegetación. Al igual que la otra opción, incluye un sistema de riego por aspersión y tiene un costo entre 4 a 6 UF por metro cuadrado.

Ambos sistemas incluyen todos los componentes necesarios para asegurar un buen funcionamiento de las cubiertas vegetales, tales como capa impermeabilizante, capa de retención y drenaje de agua, filtros de material particulado fino, etc.

Por razones de simplicidad, se consideró un valor de instalación y mantención por metro cuadrado de 5 UF, lo cual es un valor más alto que el promedio y no considera que el precio tendrá una disminución en el futuro producto de las nuevas tecnologías que se vayan implementando. Este supuesto es beneficioso para el caso de estudio, ya que es un escenario conservador y se espera que el resultado final sea aún más favorable que el entregado en este trabajo.

#### **7.2.4. Balance económico de la implementación de cubiertas vegetales**

Finalmente, una vez conocida la distribución del uso de combustible, la proyección del precio de estas fuentes de energía y el costo de instalación de las cubiertas vegetales, es posible analizar si es conveniente económicamente la promoción de estas tecnologías constructivas.

En este estudio, se analizaron 4 opciones, las que dependen principalmente del tiempo que demora la instalación de las cubiertas en las viviendas ya construidas. Se consideran tiempos de instalación de 1 año (todas las viviendas ya construidas tendrán cubiertas vegetales), 5 años (se instalan cubiertas vegetales en el 20% de las viviendas ya construidas por año), 10 años (se instalan cubiertas vegetales en el 10% de las viviendas ya construidas por año) y 20 años (se instalan cubiertas vegetales en el 5% de las viviendas ya construidas por año). Se asume que todas las viviendas nuevas ya tienen implementadas los techos con vegetación.

El tiempo que demora la instalación es un factor importante a considerar, ya que si se instalan todas durante un año, se requiere una inversión inicial bastante alta, pero se comienzan a tener ahorros importantes desde el inicio del periodo de evaluación. En cambio, si se considera un periodo más largo de instalación de las cubiertas vegetales en las viviendas existentes, la inversión inicial baja considerablemente, pero los beneficios iniciales no son tan altos, y el tiempo de recuperación de la inversión es más largo también.

Al multiplicar los valores de la calefacción de la zona sensible de las tablas del anexo C.1, por el valor correspondiente de la distribución de usos de combustible de calefacción del anexo C.4, y considerando que toda la energía para refrigeración de la zona sensible de las tablas del anexo C.1 es electricidad, se obtiene la cantidad de combustible utilizado por el total de las tipologías al año (con y sin cubiertas vegetales). Estos valores se multiplican por el precio de cada combustible indicado en la tabla del anexo C.5 y al sumarle el costo de instalación (correspondiente al escenario deseado), se obtiene el gasto económico total por tipologías año a año.

Finalmente, al sumar todos los gastos anuales, se obtiene el gasto económico acumulado, lo que permite encontrar si es viable económicamente la instalación de cubiertas vegetales en el parque de viviendas de la Región Metropolitana. Estos valores antes mencionados se muestran en el anexo C.7.

En la ilustración 35, se puede apreciar el gasto económico acumulado correspondiente a cada periodo de tiempo adoptado para la implementación de las cubiertas. Como se comentó anteriormente, a medida que se instala esta tecnología en un periodo de tiempo más corto, la inversión inicial es mayor, pero se recupera en un periodo de tiempo más corto. Estos periodos de recuperación se pueden observar en la tabla XXXIII.

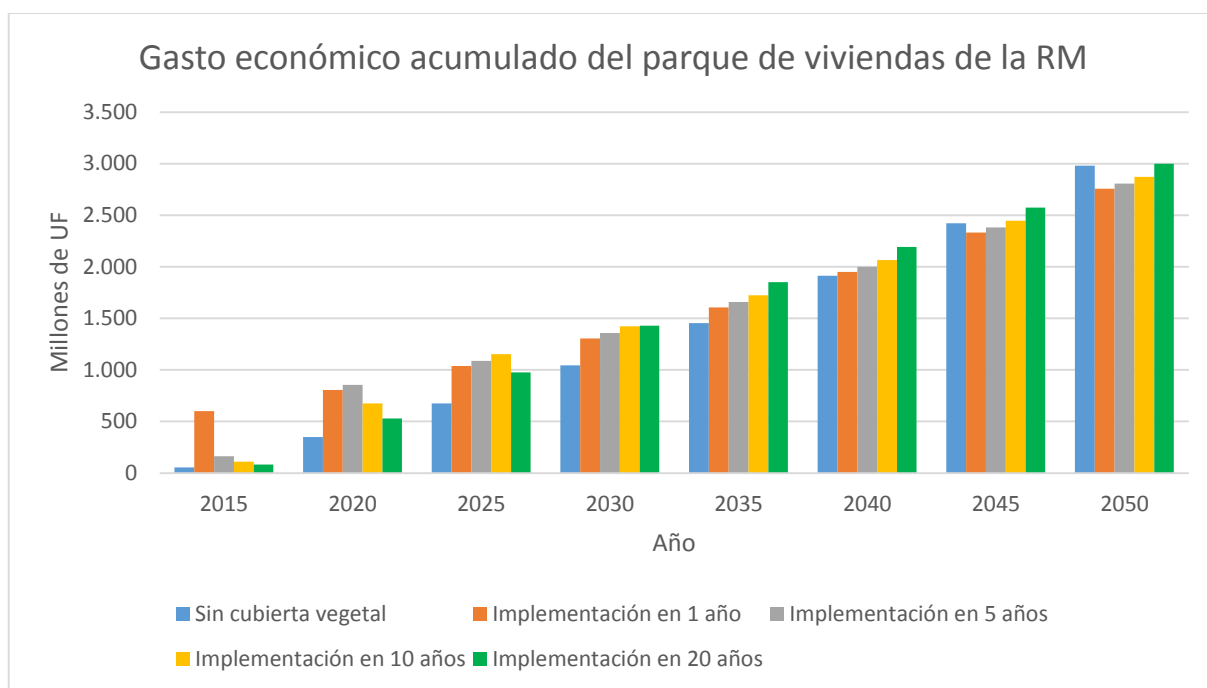


Ilustración 35. Gasto económico acumulado de los distintos periodos de implementación de las cubiertas vegetales.

Tabla XXXIII. Tiempo de recuperación de la inversión de los distintos periodos de implementación evaluados.

Tiempo de implementación	Año de recuperación	Tiempo de recuperación de la inversión [años]
1 año	2042	27
5 años	2044	29
10 años	2046	31
20 años	2051	36

Como se ha comendo anteriormente, mientras más largo sea el periodo de implementación de las cubiertas vegetales en las viviendas existentes, se necesita más tiempo para recuperar la inversión. A pesar de esto, casi todas las inversiones (a excepción de la implementación a 20 años) se recuperan antes del periodo de evaluación.

Esto lleva a suponer que efectivamente la implementación de cubiertas vegetales en las viviendas de la Región Metropolitana trae consigo variados beneficios, desde los medioambientales, hasta sociales y económicos.

En caso de que no se reacondicionaran las cubiertas de las viviendas ya existentes y que solo se implementaran techos verdes en las nuevas construcciones, la situación no es tan favorable y la inversión no alcanza a recuperarse antes del año 2050. Esto se puede apreciar en la ilustración 36, la cual muestra el gasto económico acumulado solamente de las construcciones posteriores al año 2015.

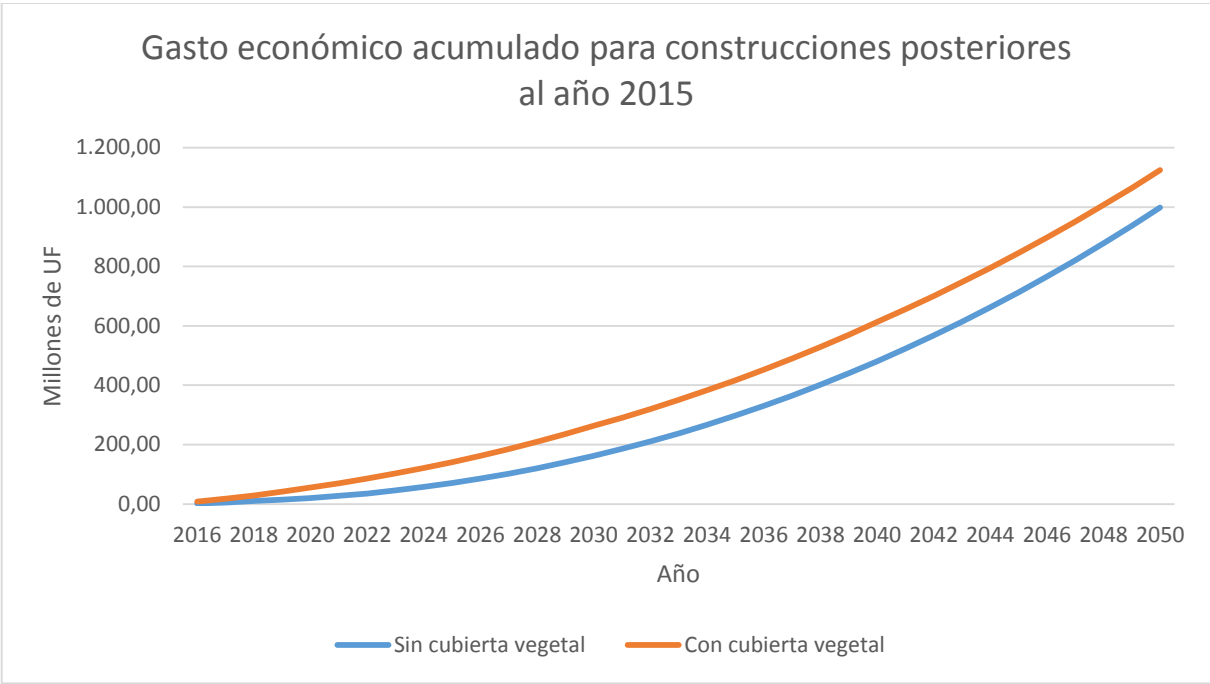


Ilustración 36. Gasto económico acumulado para construcciones posteriores al año 2015.

Esto ocurre principalmente debido al gran número de viviendas ya existentes. El ahorro energético de las nuevas construcciones no es lo suficientemente grande como para contrarrestar el gran gasto de las viviendas ya existentes.

### **7.3. Bases de una futura legislación para implementar cubiertas vegetales en las construcciones**

A continuación, se presentan los puntos principales para que en el futuro sea posible crear una legislación que fomente la utilización de cubiertas vegetales. Es necesario que la implementación de techos verdes en las viviendas de la Región Metropolitana sea una política a nivel país, ya que la cantidad de beneficios que entregan abarcan distintos ámbitos, tanto los económicos, como los sociales y públicos.

Esta legislación no debe ser obligatoria y debe tomarse como referencia, ya que incurre en gastos que la población de escasos recursos no puede realizar.

#### **7.3.1. Materiales de las cubiertas vegetales**

La cubierta vegetal debe contar con todos los componentes obligatorios previamente definidos, con la finalidad de evitar incurrir en gastos por futuras reparaciones que pueden ser evitables con una correcta planificación e implementación. En el caso de viviendas existentes, es necesaria una buena comunicación con las viviendas vecinas. De esta forma, por ejemplo, es posible construir un acceso común a las cubiertas vegetales y así, disminuir los costos y facilitar el trabajo.

Como componentes opcionales, se sugiere que se instale un sistema de riego por aspersión para evitar gastar recursos hídricos innecesariamente. Un sistema de riego por goteo no hidrata el sustrato correctamente y puede provocar daños en las capas inferiores debido a la concentración de agua en ciertos puntos.

Se recomienda que se realicen futuras investigaciones para poder determinar un espesor de sustrato a utilizar en los techos verdes óptimo. Debido al clima semi-árido de la Región Metropolitana, se recomienda que instalen solamente cubiertas vegetales extensivas, con especies de vegetación nativas o de bajo consumo de agua y con un espesor de sustrato no menor a 7 centímetros (de acuerdo a lo expuesto en el Simposio Internacional de Arquitectura e Ingeniería de Envoltentes de Edificios [23]).

La pendiente de la cubierta deberá responder a la normativa ya existente y debe contar con un sistema para retener y evitar el escurrimiento de sustrato. En viviendas existentes, se recomienda comenzar reacondicionando las techumbres con menor pendiente, ya que las cubiertas con una alta pendiente tienen mayores costos asociados.

Previa a la instalación de la cubierta vegetal, debe realizarse un cálculo estructural para asegurar que la estructura soportante es capaz de resistir la sobrecarga aportada por el techo. Esta sobrecarga debe considerarse con un 100% de cobertura de vegetación, con el sustrato saturado de agua y con el peso de las personas que realizan las mantenciones. Para las viviendas existentes, se recomienda comenzar el reacondicionamiento térmico con las viviendas que no requieren un refuerzo estructural.



Para aumentar el beneficio entregado por las cubiertas vegetales, se deben aplicar las mejores técnicas y materiales disponibles a la fecha, evaluando siempre su relación precio/calidad.

### **7.3.2. Plazo de implementación de las cubiertas vegetales**

La implementación de las cubiertas vegetales debiese ser recomendada en todas las nuevas construcciones. Además, se sugiere un plazo no superior a 20 años para reacondicionar térmicamente el parque de viviendas ya existente de la Región Metropolitana.

Se espera que se comience reacondicionando a las viviendas que no poseen ningún tipo de aislación térmica en la envolvente (viviendas construidas antes del 2000), ya que la disminución del consumo energético es más significativo

### **7.3.3. Deducción de impuestos y subsidios**

Con la finalidad de incentivar el uso de azoteas vegetales, se recomienda que se entregue la posibilidad de disminuir la cantidad de impuestos por el hecho de construir, en todas las cubiertas que estén parcial o totalmente revestidas por vegetación.

Se recomienda subsidiar parcial o totalmente el costo de diseño y construcción de las terrazas vegetales, con la finalidad de fomentar el desarrollo de esta tecnología.

Se sugiere que se entregue un incentivo económico a las viviendas que mantengan la cubierta vegetal en estado operativo durante una cierta cantidad de tiempo, para así evitar el descuido de los techos y el mal uso de los recursos entregados.

### **7.3.4. Educación, entrega de información y fomento del uso de las cubiertas vegetales**

Para implementar todas estas medidas y utilizar de una manera adecuada las cubiertas vegetales, es necesario realizar campañas informativas y de concientización sobre los beneficios que aportan los techos verdes y sobre las distintas posibilidades y descuentos tributarios que tienen las personas que deseen implementar este tipo de techos.

## CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo, tanto de la modelación computacional, revisión bibliográfica y la elaboración de los capítulos anteriores, se puede concluir que:

- Las investigaciones y los estudios realizados hasta la fecha no son capaces de predecir de forma exacta el comportamiento térmico de las viviendas que poseen cubiertas vegetales, a pesar de que estos han sido utilizados desde hace cientos de años por otras culturas y civilizaciones. Antes de tomar cualquier decisión es necesario informarse de forma adecuada y responsable.
- Debido al clima semi-árido de la Región Metropolitana, no todos los tipos de cubiertas vegetales son aptas para su uso en esta zona. Es necesario realizar un estudio particular para cada una de las zonas térmicas definidas en la norma chilena ya que el impacto de los techos será distinto para cada sector.
- La utilización de cubiertas vegetales disminuye el gasto de energía de calefacción y refrigeración, debido a que disminuye la transmitancia térmica del techo y la temperatura superficial, evitando que la radiación solar llegue más directamente a las viviendas.
- Las mayores ventajas con respecto al consumo de energía se ven cuando los techos verdes se ocupan en viviendas que no están aisladas térmicamente.
- Los beneficios térmicos aportados por las cubiertas vegetales son más significativos en viviendas de un piso que en viviendas con más pisos. Para un mismo volumen encerrado, los beneficios son mayores cuando se tiene una mayor área de techo en una vista en planta.
- Se observa una mayor disminución en el consumo energético durante la época de verano (refrigeración) que durante el invierno (calefacción). Además, los energéticos utilizados para refrigerar (generalmente electricidad) son más costosos que los combustibles utilizados para calefaccionar, lo que implica un ahorro económico mayor.
- Si bien en este trabajo se analizaron solamente viviendas, se espera que el ahorro energético sea aún mayor en edificios comerciales tales como supermercados, malls, y tiendas en donde efectivamente se espera que tengan una temperatura confortable en su interior.
- El escenario en donde solo se obliga a implementar techos verdes a las nuevas construcciones, no es rentable económicamente al menos hasta el año 2050. Para que sea rentable, es necesario que la implementación de esta tecnología incluya a las viviendas existentes.

- Si se llegasen a implementar techos vegetales en el parque de viviendas de la Región Metropolitana siguiendo uno de los escenarios propuestos, existiría un ahorro energético y la inversión se recuperaría antes del año 2050. A medida que las viviendas se vayan reacondicionando térmicamente en una menor cantidad de años, antes será la recuperación de la inversión.
- A causa del alto costo que tiene esta tecnología, es necesaria la intervención del gobierno, otorgando subsidios, rebaja en el pago de impuestos, disminución de las cuentas de luz, etc., ya que la gran mayoría de las familias no son capaces de invertir la cantidad de dinero necesaria para reacondicionar térmicamente sus viviendas.
- Es importante poder encontrar algún medio para cuantificar económicamente las externalidades positivas generadas por los techos verdes, ya que estas entregan un bienestar social y deben estar incluidas en el balance económico.
- A pesar de que las cubiertas vegetales mejoran el desempeño térmico de las viviendas, los aportes que generan en el medio ambiente pueden ser igual o más importantes que el ahorro económico obtenido. La purificación del aire, la retención de aguas lluvias, la disminución del efecto isla de calor, la rebaja en la producción de CO<sub>2</sub>, el mejorar la calidad de vida de los habitantes, etc., son temas que los gobiernos deberían considerar como importantes y que deben discutir al momento de evaluar esta tecnología.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Chile – Cámara Chilena de la Construcción (CChC) – Corporación de Desarrollo Tecnológico (2010). *“Recomendaciones técnicas para proyectos de cubiertas vegetales”*.

[2] Chile - Instituto Nacional de Normalización (2007). NCh853-2007 *“Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”*.

[3] Chile - Instituto Nacional de Normalización (2008). NCh1079-2008 *“Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional en Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”*.

[4] Chile - Canales, Michel (2014). *“Efectos del uso de techos y fachadas vegetales en el comportamiento térmico de edificios”*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

[5] EEUU - Magill, J. D.; Midden, K.; Groninger, J. & Therrell, M. (2011). *“A History and definition of green roof technology with recommendations for future research”*.

[6] Chile - Romero, H.; Salgado, M.; Smith, P. (2010). Revista INVI v.25 n.70. *“Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile”*.

[7] Argentina - Azpilicueta, E. (2010). Revista Tectónica n.31. *“Hacia un óptimo energético. Instalaciones y energía.”*

[8] EEUU - VanWoert, N.; Rowe, D.; Andresen, J.; Rugh, C.; Fernandez, R.; Xiao, L. (2001). *“Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth.”*

[9] Alemania - Minke, Gernot. (2004). Editorial Fin de Siglo. *“Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos.”*

[10] Chile – Gobierno de Chile - Ministerio del Medio Ambiente. (2013). *“Primer reporte del estado del medio ambiente.”*

[11] Chile – Gobierno de Chile - Ministerio del Medio Ambiente. (2011). *“Informe del estado del medio ambiente.”*

[12] Chile - Dagorret, N. (2014). *“Ahorro energético y económico a través de la implementación de medidas de gestión energética. El caso de la implementación de doble piel vegetal en edificios de oficinas existentes de los años 90 en Santiago”*. Tesis para optar al grado de Magister en Dirección y Administración de Proyectos Inmobiliarios, Universidad de Chile.

[13] Chile - MINVU - Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (2006). *“Manual de aplicación. Reglamentación térmica. Artículo 4.1.10”*.

[14] Chile - Taboada, Jorge (1987). *“Reacondicionamiento térmico del parque de viviendas del Gran Santiago: Bases para la evaluación de potencialidades”*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Chile.

[15] Chile – Cámara Chilena de la Construcción (CChC) – Corporación de Desarrollo Tecnológico (2010). *“Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial”*.

[16] Chile - Instituto Nacional de Estadísticas. (2013). *“Chile: Proyecciones y estimaciones de población. 1990 – 2020. País y regiones.”*

[17] Chile - Instituto Nacional de Estadísticas. (2013). *“Chile: Proyecciones y estimaciones de población. 1950 – 2050. Total País.”*

[18] Chile - Fundación Chile. (2014). *“MAPS Chile: Proyección escenario línea tendencial 2012 y escenarios de mitigación de sector comercial, público y residencial. Informe final.”*

[19] Banco Central de Chile. (2015). *“Informe de Política Monetaria. Septiembre 2015.”*

[20] Chile - Instituto Nacional de Estadísticas. (2003). *“Anuario de edificación: 2001.”*

[21] ASHRAE IWECC 1.1. Santiago, Chile. International Weather for Energy Calculations. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/country=CHL/cname=Chile](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=CHL/cname=Chile).

[22] DesignBuilder Software – Ordóñez, A. (2014). *“Manual de ayuda DesignBuilder en español”*.

[23] **Bustamante, W; Tabares, P.; Vera, S. (2015)** *“Simposio internacional de arquitectura e ingeniería de envolventes de edificios”*. Centro de extensión Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 16 y 17 de noviembre de 2015.

[24] **Organización de las Naciones Unidas (ONU) – Paris. (2015)**. *“Convención Marco sobre el Cambio Climático”*.

[25] **Chile – Universidad de Chile – Gabriel Rodríguez Jaque**. *Académico de la Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil*.

[26] **Chile – Ministerio del Medio Ambiente – Decreto Supremo Nº 38/2011. (2014)**. *“Norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas”*.

[26] **Chile Fundación Chile – Rodríguez, G.; Colonelli, P. (2004)**. *“Características acústicas de viviendas sociales urbanas – Definición de estándares y recomendaciones de diseño”*.

[27] **Estados Unidos – Getter, K.L. & Rowe, D.B. (2006)**. HortScience 41(5): 1276 – 1285. *“The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development”*.

[28] **México – Nahle, N. (2006)**. *“Transferencia de calor. Biology Cabiney”*. Revisado el día 15 de diciembre de 2015. [http://www.biocab.org/Transferencia\\_Calor.html](http://www.biocab.org/Transferencia_Calor.html)

[29] **Estados Unidos – B. Givoni. (1969)**. *“Man, Climate and Architecture”*.

[30] **Chile – Rodríguez, G. (2002)**. Revista Bit Nº27. *“Temperatura de Confort”*.

[31] **Chile – MINVU. (2006)**. *“Manual de aplicación de la reglamentación térmica”*.

## ANEXO A (Dimensiones)

### A.1. Tipología 1

La tipología 1, corresponde a una casa aislada de un piso con albañilería de ladrillo que posee las siguientes características.

Tabla XXXIV. Dimensiones de la tipología 1.

Superficie útil piso 1 [m <sup>2</sup> ]	56,50
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	-
Área ventanas noroeste [m <sup>2</sup> ]	5,48
Área ventanas noreste [m <sup>2</sup> ]	7,82
Área ventanas suroeste [m <sup>2</sup> ]	0,56
Área ventanas sureste [m <sup>2</sup> ]	3,78
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	87,75
Altura cielo piso 1 [m]	3,32
Altura cielo piso 2 [m]	-
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	3,93
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	61,05
Pendiente tejado [°]	10,00
Alero [m]	0,20

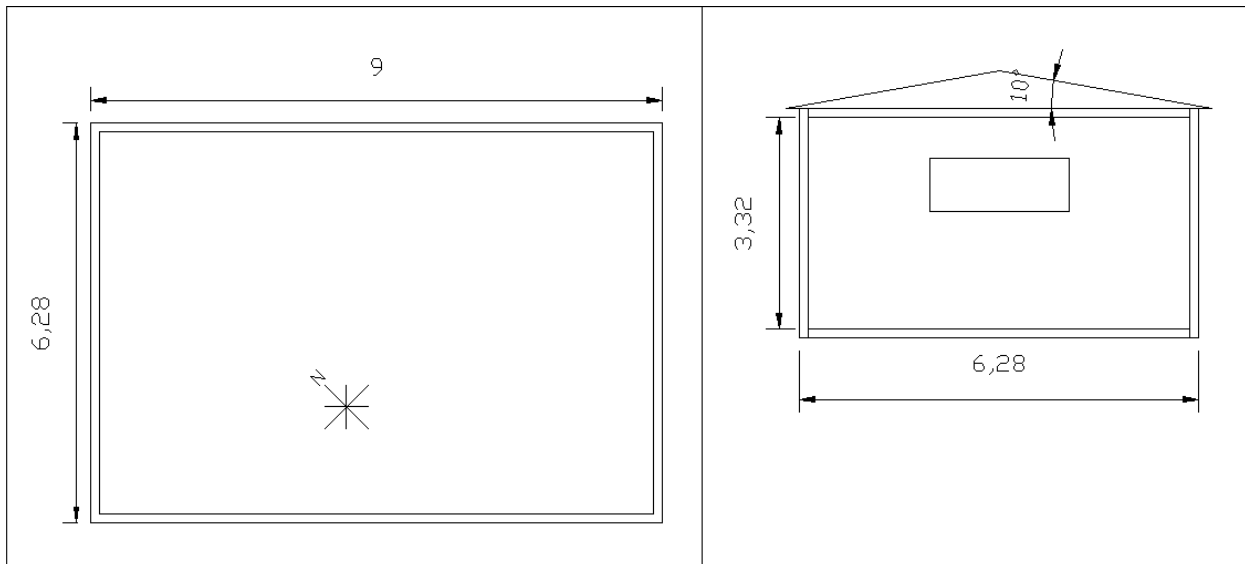


Ilustración 37. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

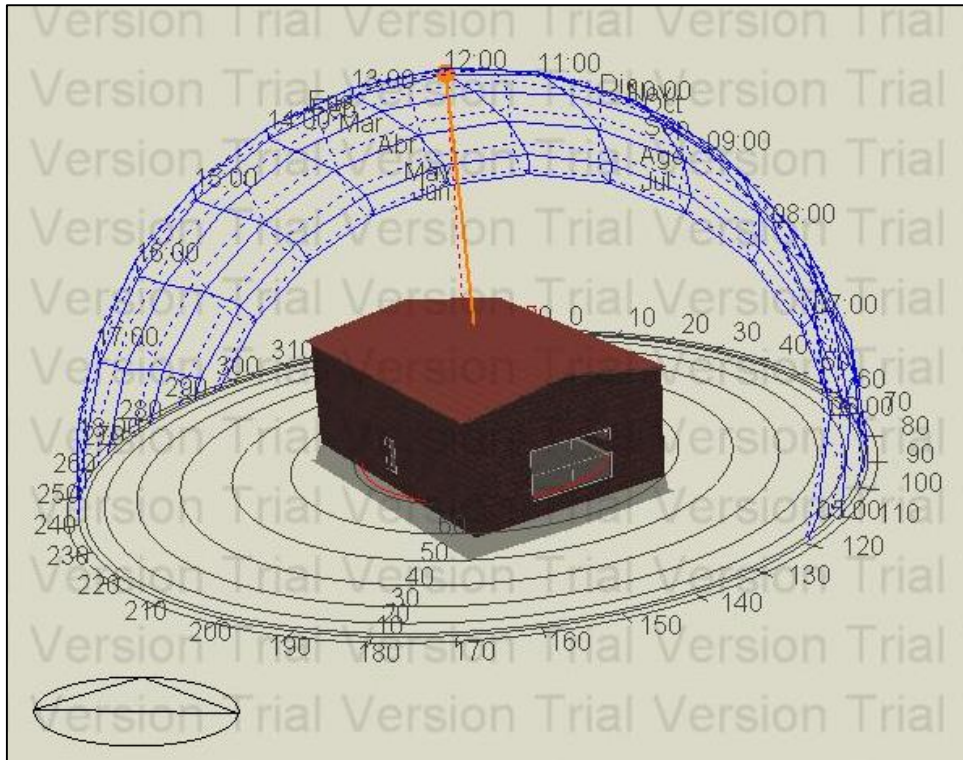


Ilustración 38. Tipología 1 sin cubierta vegetal.

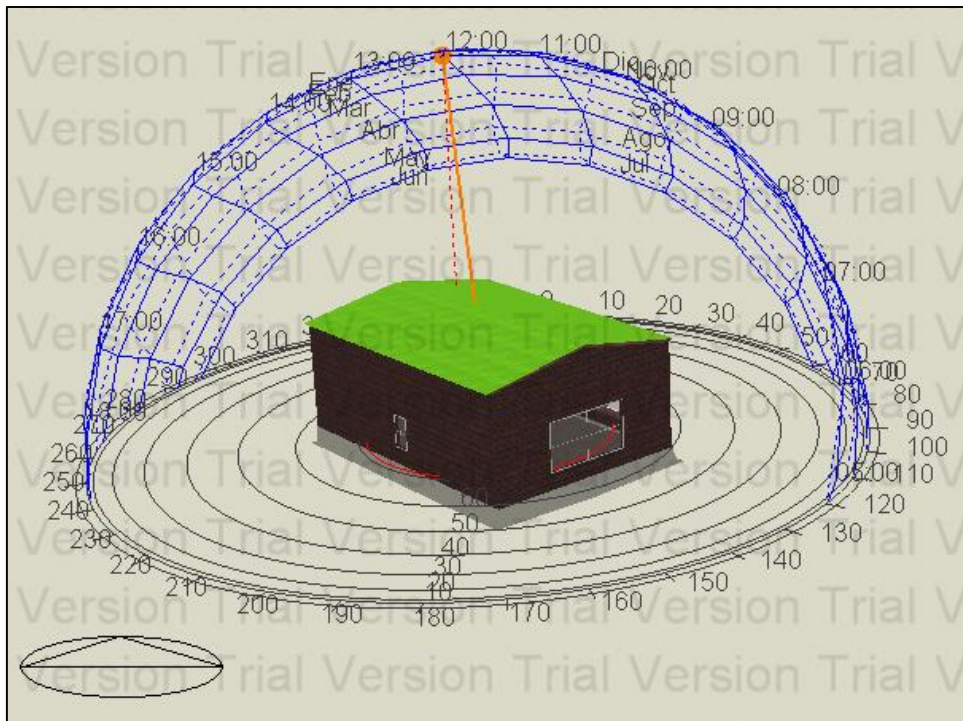


Ilustración 39. Tipología 1 con cubierta vegetal.



## A.2. Tipología 2

La tipología 2 corresponde a una casa aislada de dos pisos con albañilería de ladrillo. Las características principales se muestran a continuación.

Tabla XXXV. Dimensiones de la tipología 2.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	110,60
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	110,60
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	28,48
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	16,27
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	7,18
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	210,20
Altura cielo piso 1 [m]	2,97
Altura cielo piso 2 [m]	2,97
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	10,04
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	119,25
Pendiente tejado [°]	12,00
Alero [m]	0,25

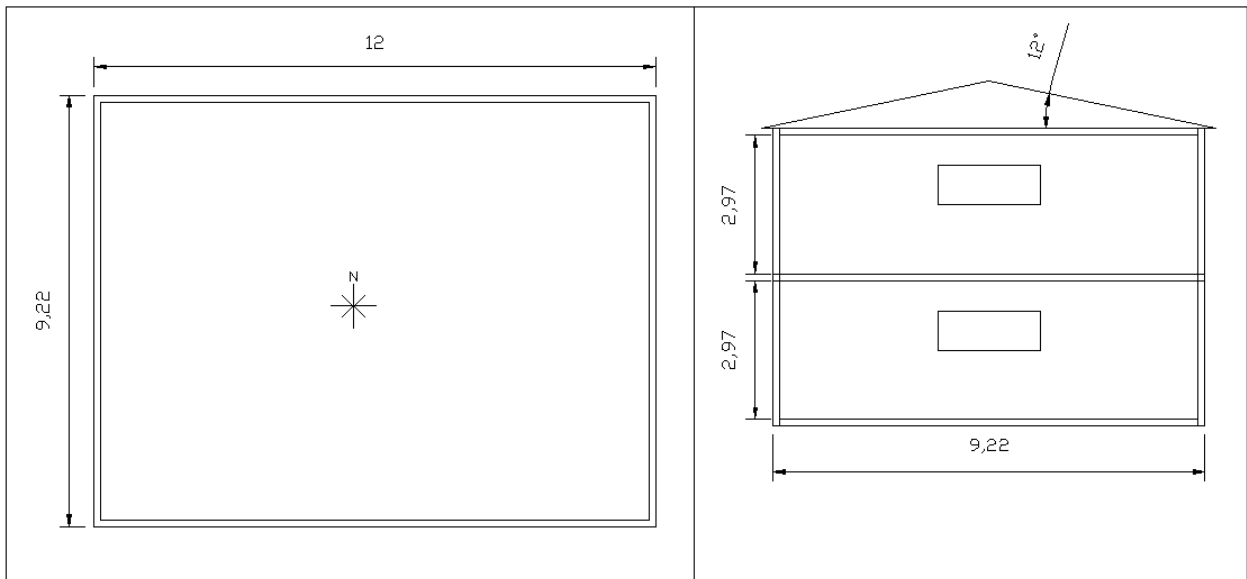


Ilustración 40. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

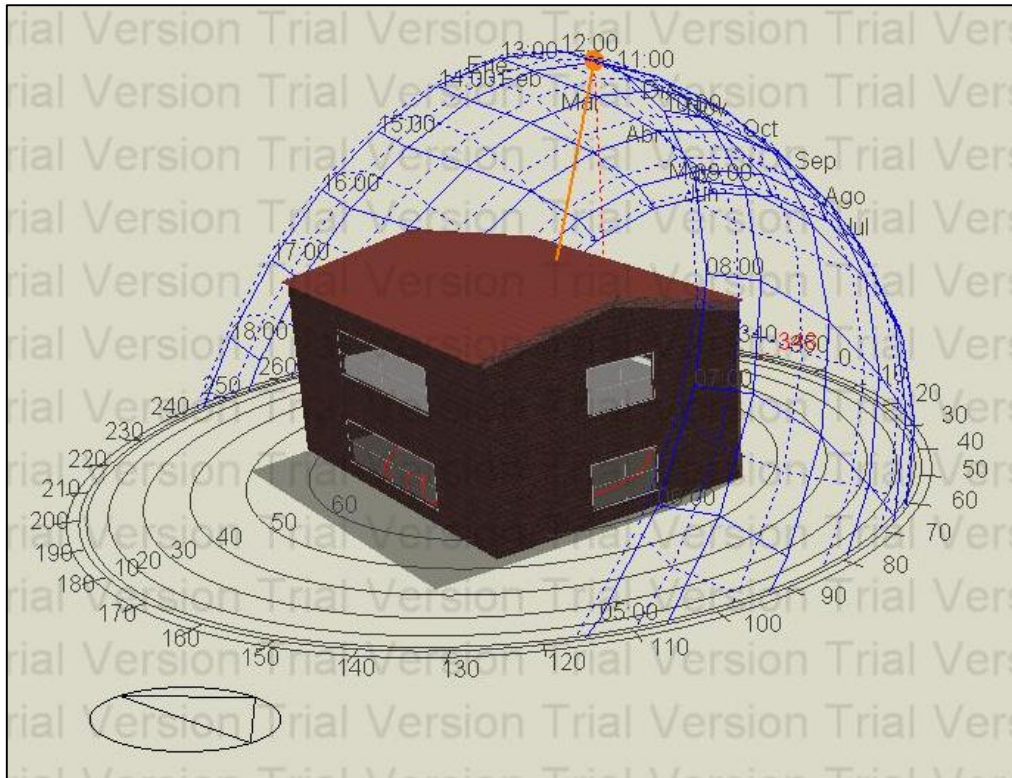


Ilustración 41. Tipología 2 sin cubierta vegetal.

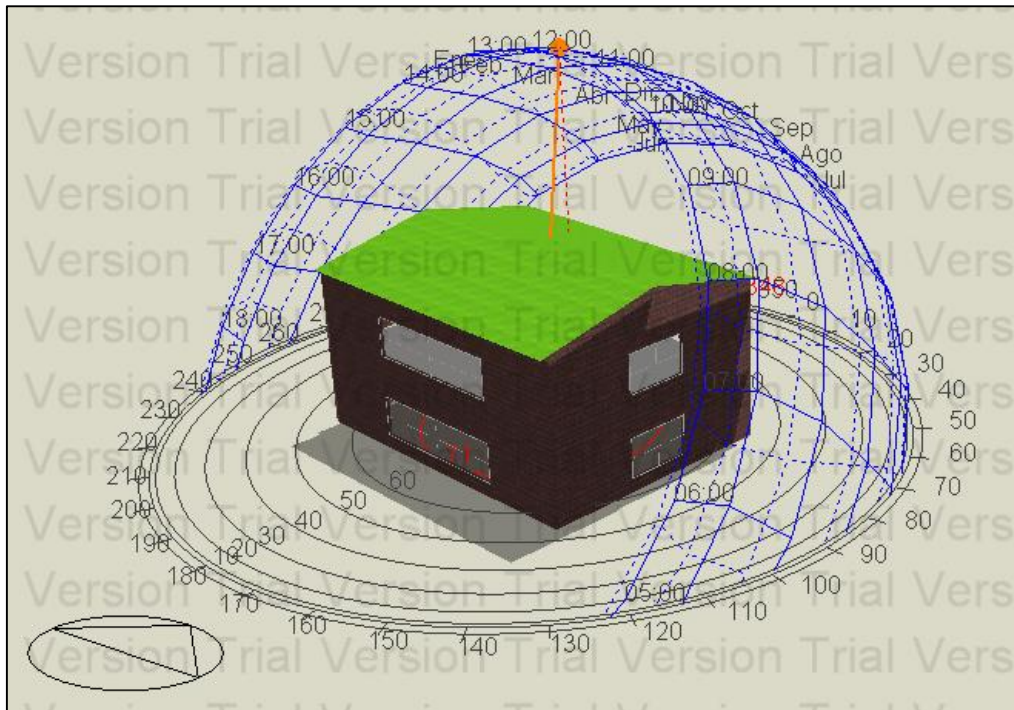


Ilustración 42. Tipología 2 con cubierta vegetal.

### A.3. Tipología 3

La tipología 3 corresponde a una casa aislada de dos pisos con albañilería de ladrillo. Las características principales se muestran a continuación.

Tabla XXXVI. Dimensiones de la tipología 3.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	61,00
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	61,00
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	10,14
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	5,68
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	7,76
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	7,76
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	125,32
Altura cielo piso 1 [m]	2,41
Altura cielo piso 2 [m]	2,41
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	4,55
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	65,62
Pendiente tejado [°]	10,00
Alero [m]	0,20

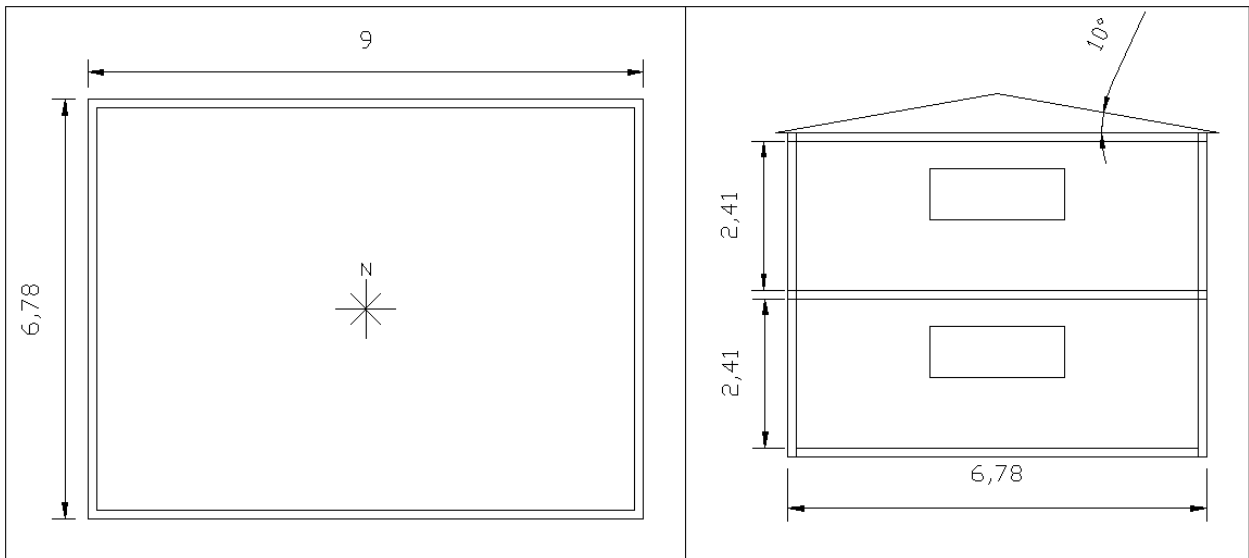


Ilustración 43. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

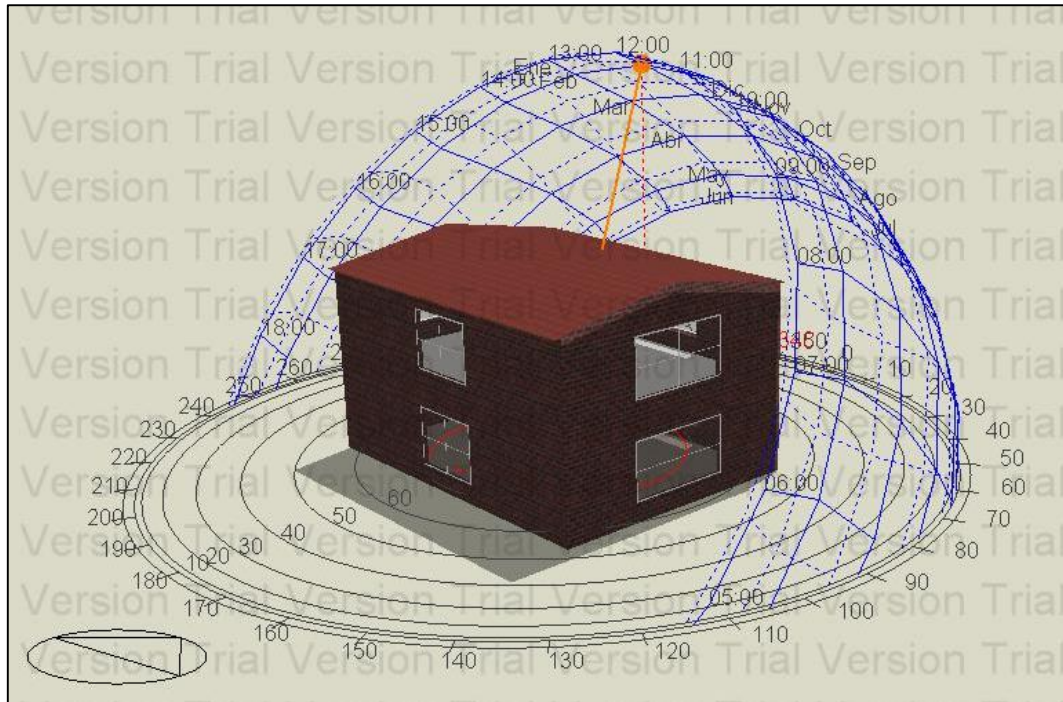


Ilustración 44. Tipología 3 sin cubierta vegetal.

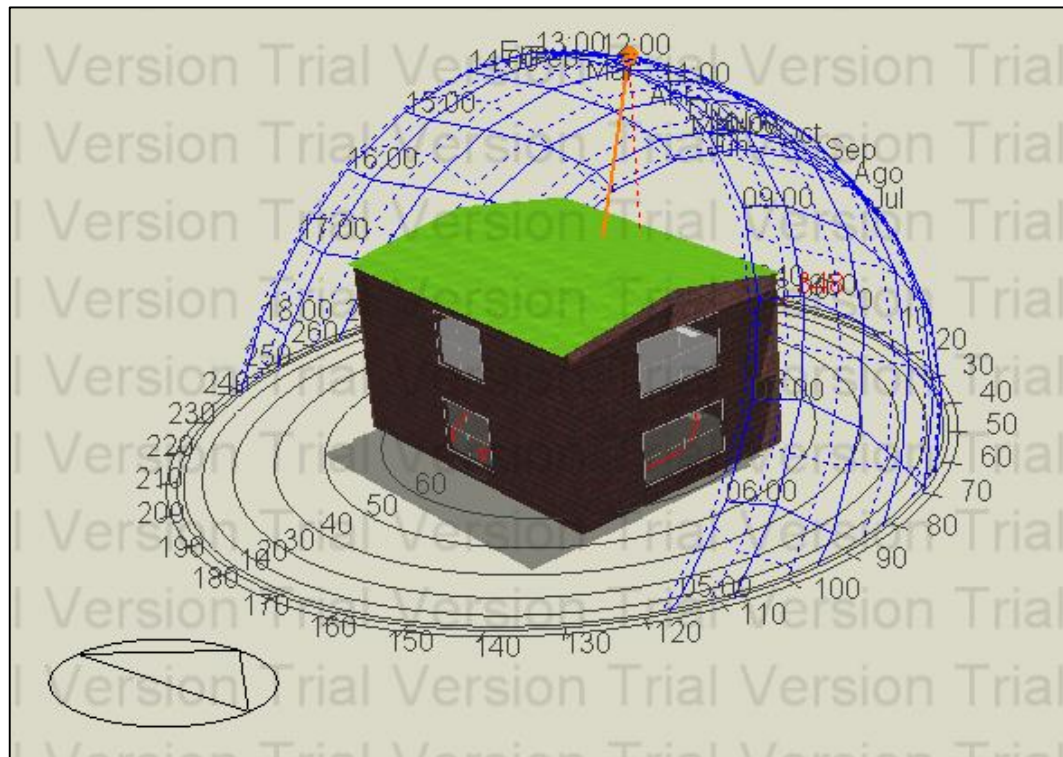


Ilustración 45. Tipología 3 con cubierta vegetal.

#### A.4. Tipología 4

La tipología 4 corresponde a una casa en línea de dos pisos con albañilería de ladrillo. Las características principales se muestran a continuación.

Tabla XXXVII. Dimensiones de la tipología 4.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	25,99
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	25,99
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	3,24
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	2,83
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	83,91
Altura cielo piso 1 [m]	3,50
Altura cielo piso 2 [m]	3,50
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	0,80
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	27,37
Pendiente tejado [°]	5,00
Alero [m]	0,10

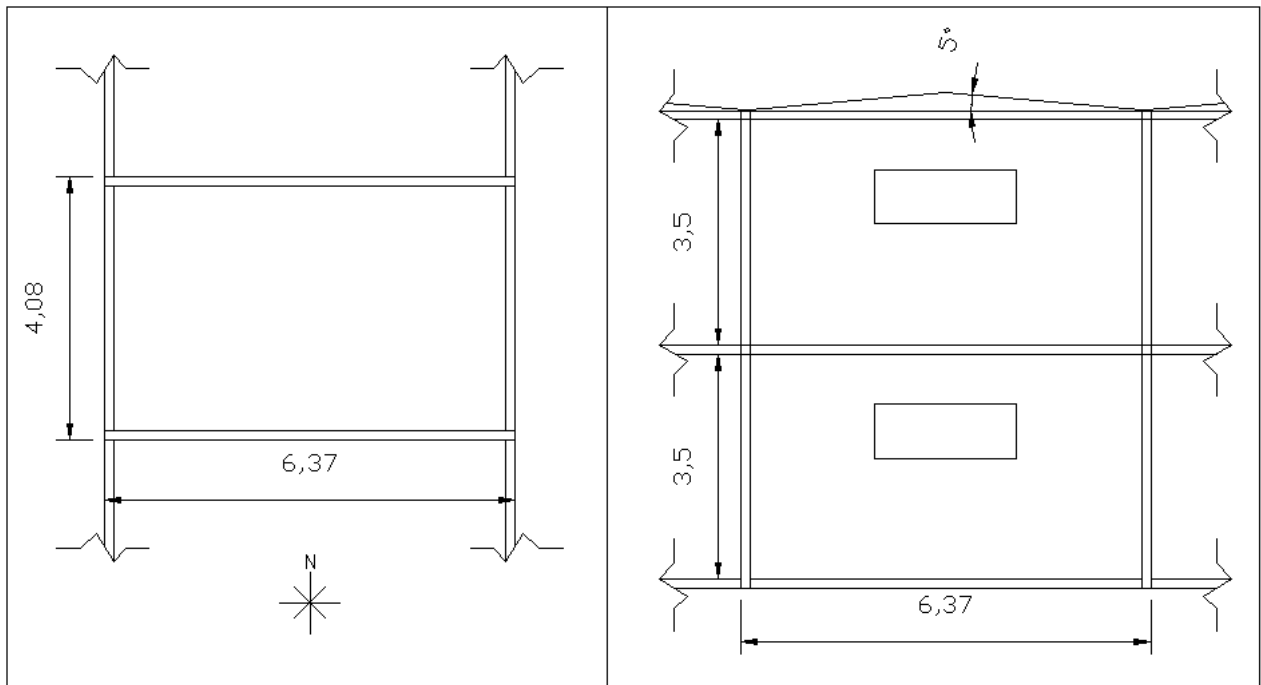


Ilustración 46. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

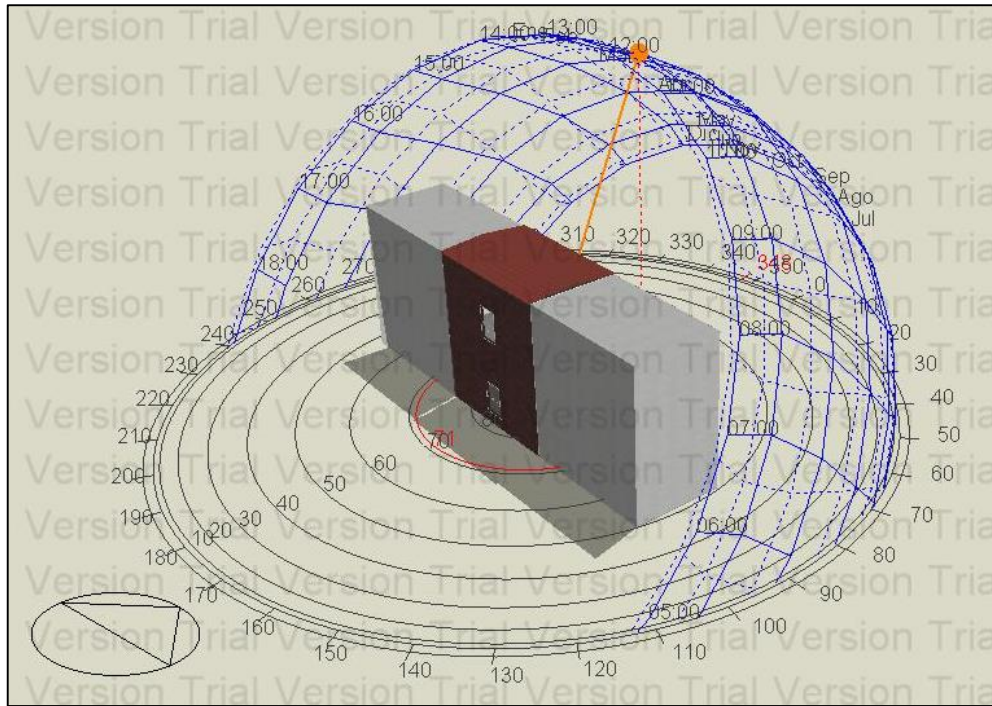


Ilustración 47. Tipología 4 sin cubierta vegetal.

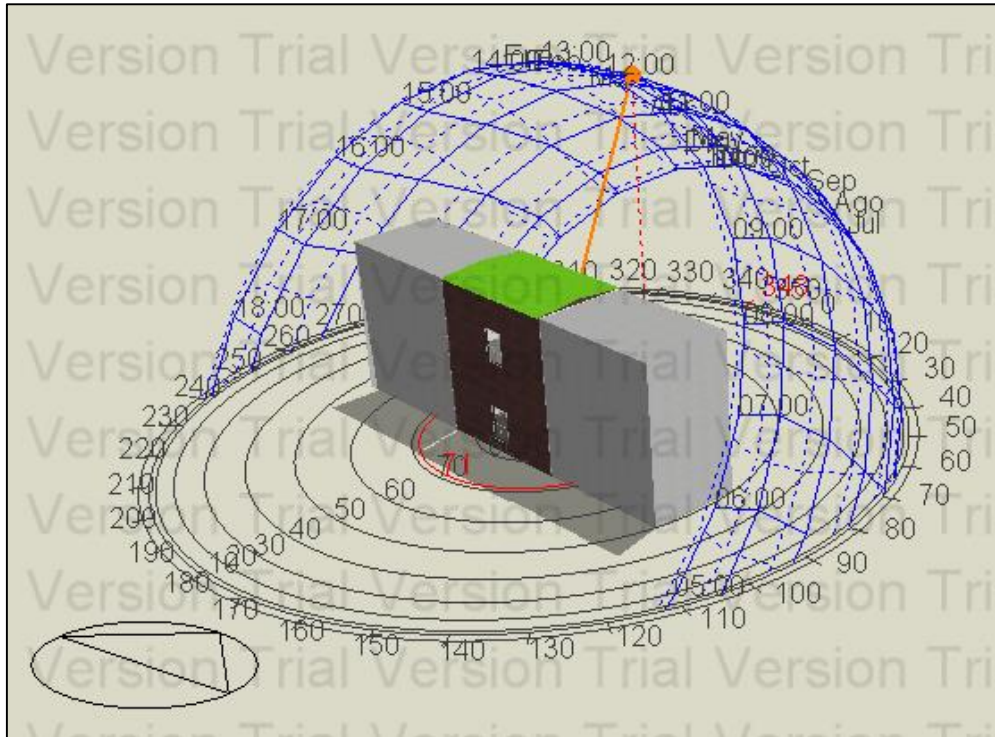


Ilustración 48. Tipología 4 con cubierta vegetal.

## A.5. Tipología 5

La tipología 5 consiste en una casa pareada de madera cuyas características se muestran a continuación.

Tabla XXXVIII. Dimensiones de la tipología 5.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	67,70
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	-
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	3,93
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	1,46
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	51,04
Altura cielo piso 1 [m]	2,40
Altura cielo piso 2 [m]	-
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	80,43
Pendiente tejado [°]	10,00
Alero [m]	0,30

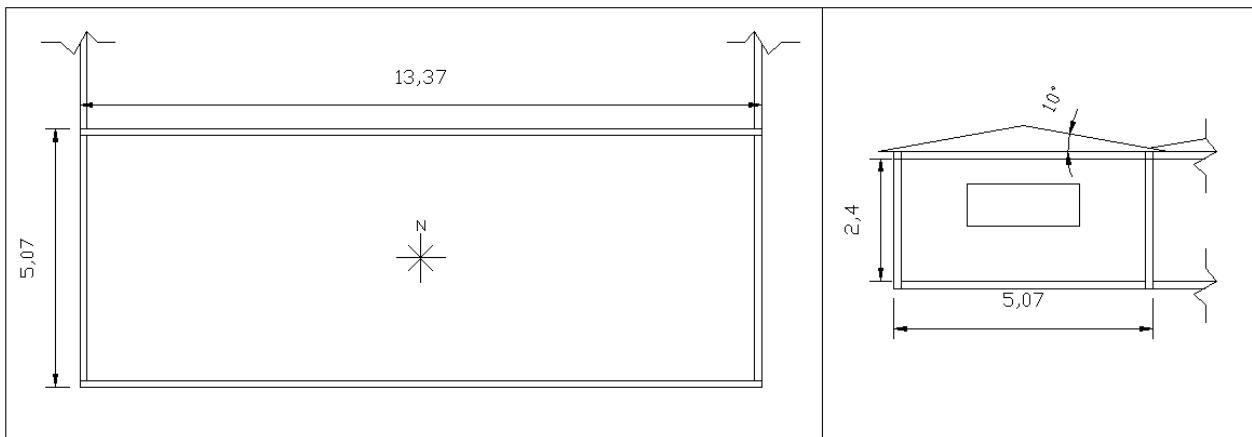


Ilustración 49. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

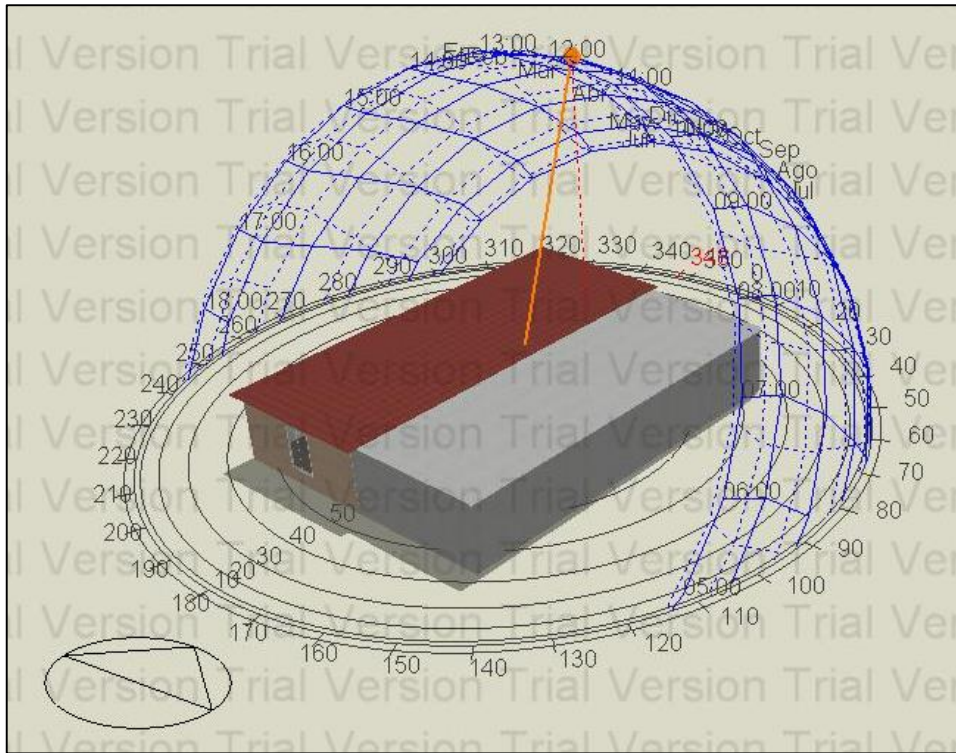


Ilustración 50. Tipología 5 sin cubierta vegetal.

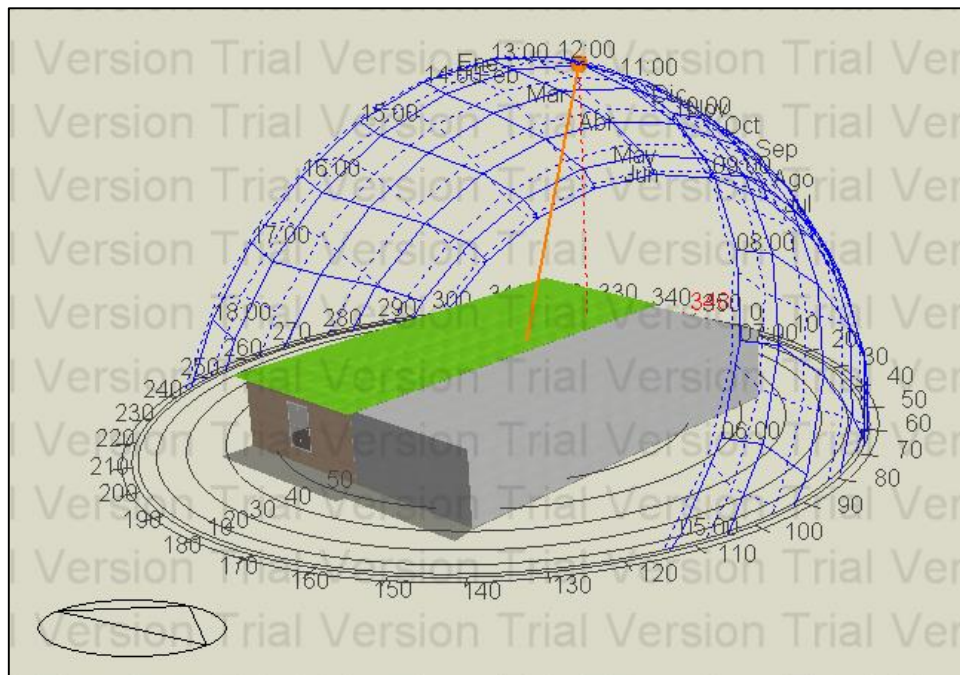


Ilustración 51. Tipología 5 con cubierta vegetal.



## A.6. Tipología 6

La tipología 6 corresponde a una casa pareada de dos pisos con albañilería de ladrillo. Las características principales se muestran a continuación.

Tabla XXXIX. Dimensiones de la tipología 6.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	42,35
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	42,35
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	5,86
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	4,73
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	1,61
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	82,00
Altura cielo piso 1 [m]	2,55
Altura cielo piso 2 [m]	2,55
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	55,18
Pendiente tejado [°]	23,00
Alero [m]	0,30

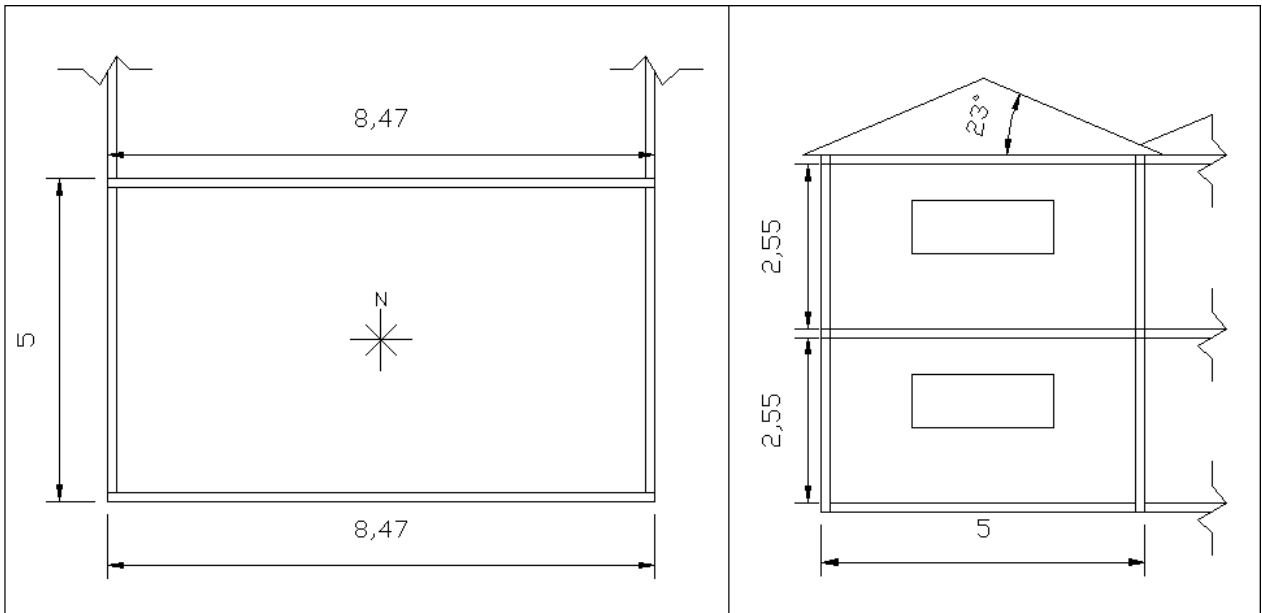


Ilustración 52. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

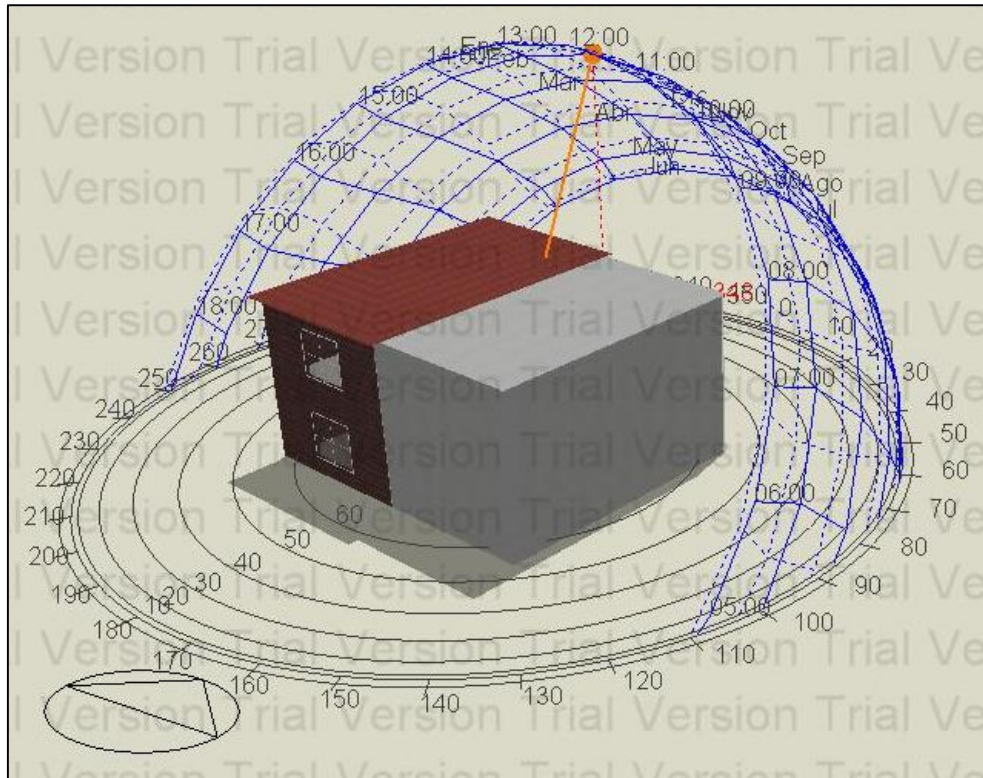


Ilustración 53. Tipología 6 sin cubierta vegetal.

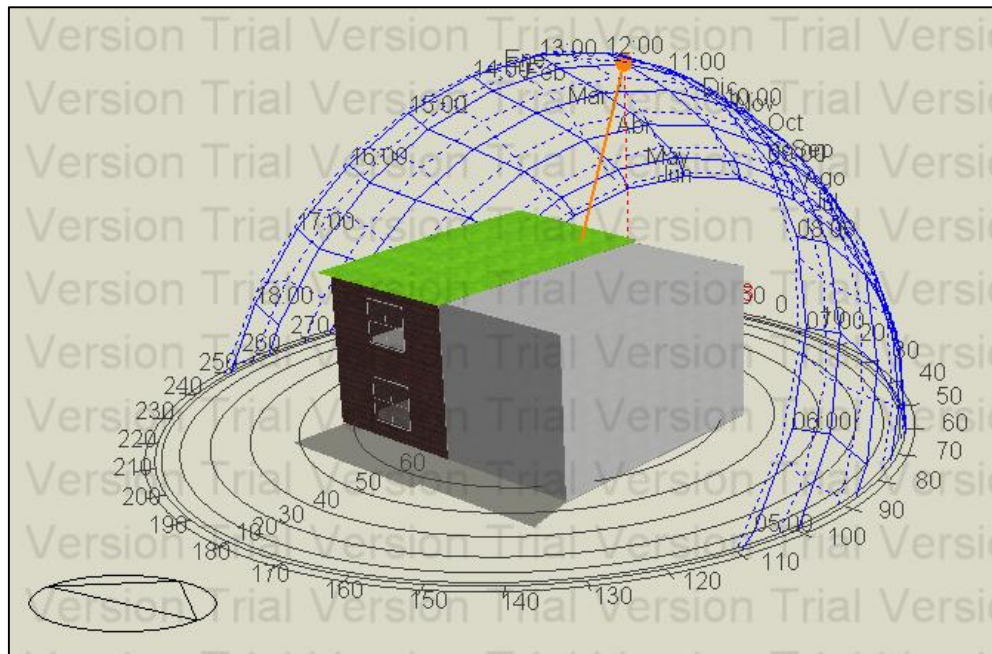


Ilustración 54. Tipología 6 con cubierta vegetal.

## A.7. Tipología 7

La tipología 7 consiste en un departamento intermedio con una fachada expuesta de materialidad de hormigón armado cuyas características se muestran a continuación.

Tabla XL. Dimensiones de la tipología 7.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	64,40
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	-
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	16,34
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	5,62
Altura cielo piso 1 [m]	2,60
Altura cielo piso 2 [m]	-
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	67,73
Pendiente tejado [°]	3,00
Alero [m]	0,10

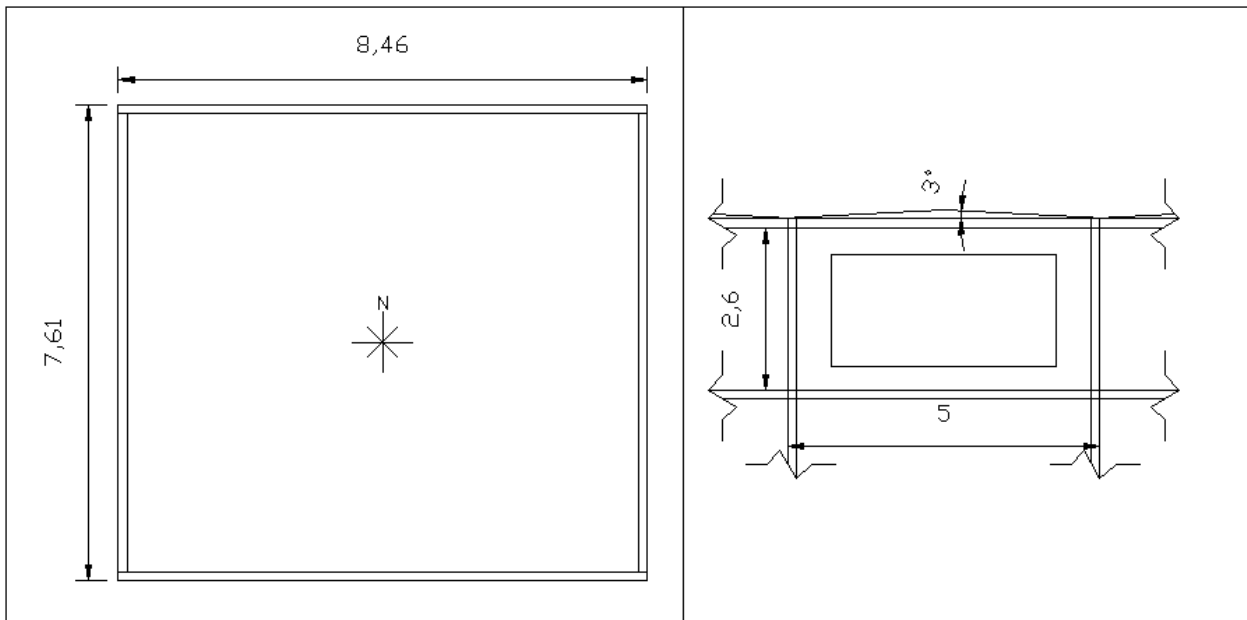


Ilustración 55. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

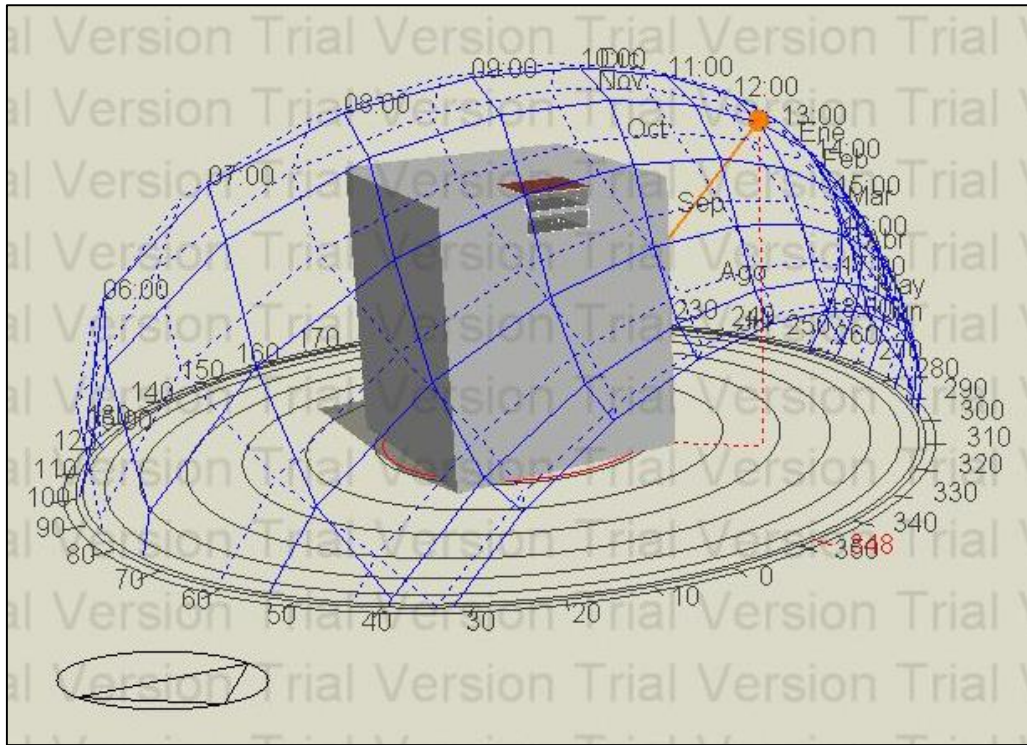


Ilustración 56. Tipología sin cubierta vegetal.

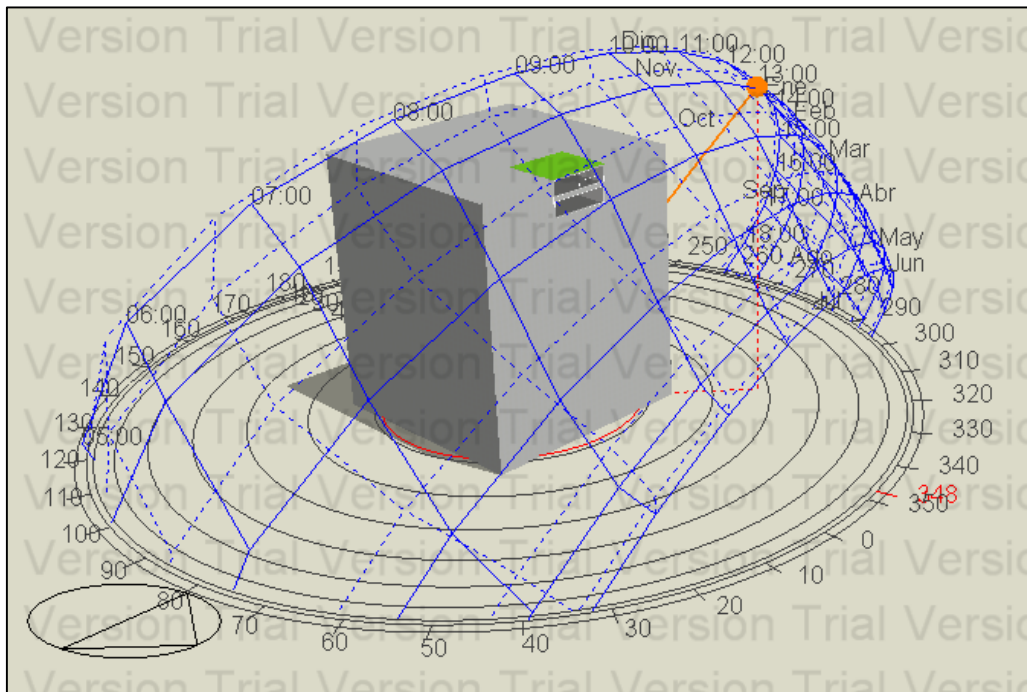


Ilustración 57. Tipología 7 con cubierta vegetal.

## A.8. Tipología 8

La tipología 8 consiste en un departamento intermedio con dos fachadas expuestas de materialidad de hormigón armado cuyas características se muestran a continuación.

Tabla XLI. Dimensiones de la tipología 8.

Superficie útil [m <sup>2</sup> ]	109,70
Superficie útil piso 2 [m <sup>2</sup> ]	-
Área ventanas norte [m <sup>2</sup> ]	9,73
Área ventanas sur [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas este [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área ventanas oeste [m <sup>2</sup> ]	12,04
Área muros envolvente [m <sup>2</sup> ]	33,17
Altura cielo piso 1 [m]	2,62
Altura cielo piso 2 [m]	-
Área muro tejado [m <sup>2</sup> ]	0,00
Área tejado [m <sup>2</sup> ]	114,09
Pendiente tejado [°]	3,00
Alero [m]	0,10

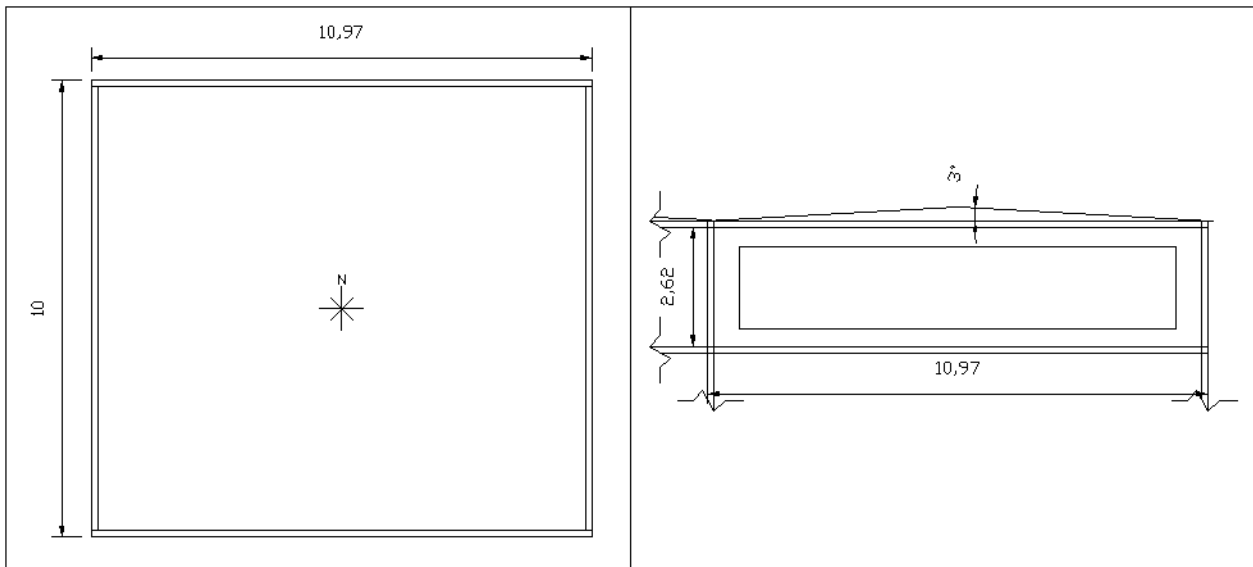


Ilustración 58. Vista en planta y elevación XX. Unidades en metro.

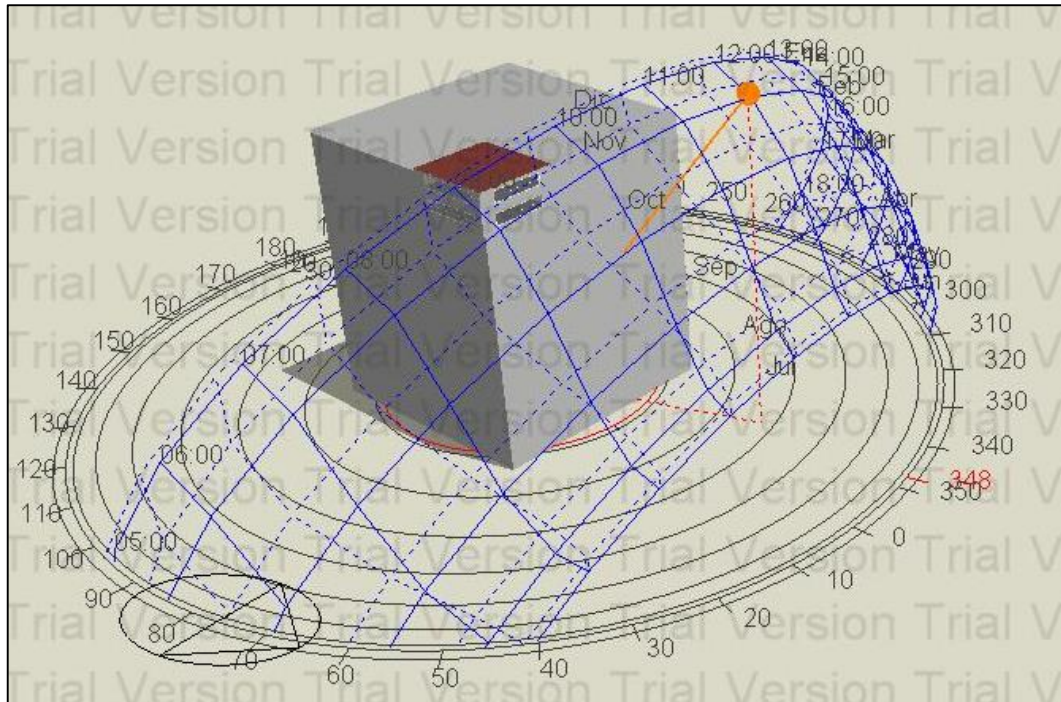


Ilustración 59. Tipología 8 sin cubierta vegetal.

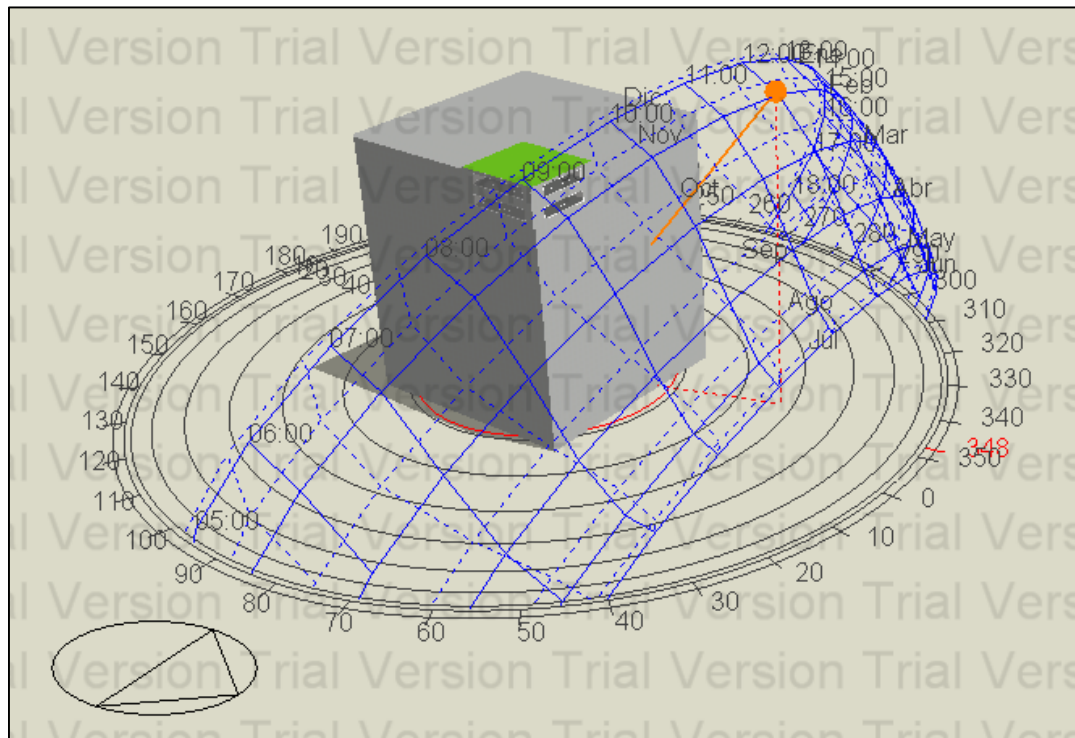


Ilustración 60. Tipología 8 con cubierta vegetal.

## Anexo B (Propiedades de las envolventes)

### B.1. Construcciones anteriores al año 2000

Tabla XLII. Materiales de la envolvente, tipologías 1-2-3-4-6.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	R [m <sup>2</sup> -K/W]	U [W/m <sup>2</sup> -K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,05	5,714
	Vidrio monolítico	6	1,200	2500,00	0,005	
	Aire interior				0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	2,222
	Ladrillo	140	0,500	1920,00	0,280	
	Aire interior				0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	2,331
	Pino	10	0,140	419,00	0,071	
	Aire	5	-	-	0,10	
	Pino	10	0,140	419,00	0,071	
	Yeso cartón	12	0,260	700,00	0,046	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

Tabla XLIII. Materiales de la envolvente, tipología 5.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	R [m <sup>2</sup> -K/W]	U [W/m <sup>2</sup> -K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,05	5,714
	Vidrio monolítico	6	1,200	2500,00	0,005	
	Aire interior				0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	1,326
	Pino 20% humedad	76,2	0,14	419,00	0,544	
	Yeso cartón	10,0	0,25	700,00	0,040	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	2,331
	Pino	10	0,140	419,00	0,071	
	Aire	5	-	-	0,10	
	Pino	10	0,140	419,00	0,071	
	Yeso cartón	12	0,260	700,00	0,046	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

Tabla XLIV. Materiales de la envolvente, tipologías 7-8.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,00	3,448
	Vidrio monolítico	3	1,200	2500,00	0,003	
	Aire	20	-	-	0,165	
	Vidrio monolítico	3	1,200	2500,00	0,003	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	3,020
	Hormigón armado	200	1,630	2400,00	0,123	
	Yeso cartón	10	0,260	700,00	0,038	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	2,859
	Hormigón liviano	10	0,120	550,00	0,083	
	Hormigón armado	200	1,630	2400,00	0,123	
	Estuco	5	1,352	1858,00	0,004	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

## B.2. Construcciones entre los años 2000 y 2007

Tabla XLV. Materiales de la envolvente, tipologías 1-2-3-4-6.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,05	5,714
	Vidrio monolítico	6	1,200	2500,00	0,005	
	Aire interior				0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	2,222
	Ladrillo	140	0,500	1920,00	0,280	
	Aire interior				0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,463
	Pino	10	0,140	419	0,071	
	Poliestireno expandido	75	0,041	15	1,829	
	Pino	10	0,140	419	0,071	
	Yeso cartón	12	0,260	700	0,046	
	Aire interior	-	-	-	0,090	



Tabla XLVI. Materiales de la envolvente, tipología 5.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,05	5,714
	Vidrio monolítico	6	1,200	2500,00	0,005	
	Aire interior				0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	1,326
	Pino 20% humedad	76,2	0,14	419,00	0,544	
	Yeso cartón	10,0	0,25	700,00	0,040	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,463
	Pino	10,0	0,140	419	0,071	
	Poliestireno expandido	75,0	0,041	15	1,829	
	Pino	10,0	0,140	419	0,071	
	Yeso cartón	12,0	0,260	700	0,046	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

Tabla XLVII. Materiales de la envolvente, tipologías 7-8.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,00	3,448
	Vidrio monolítico	3	1,200	2500,00	0,003	
	Aire	20	-	-	0,165	
	Vidrio monolítico	3	1,200	2500,00	0,003	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	3,020
	Hormigón armado	200	1,630	2400,00	0,123	
	Yeso cartón	10	0,260	700,00	0,038	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,469
	Hormigón liviano	10	0,120	550,00	0,083	
	Hormigón armado	200	1,630	2400,00	0,123	
	Poliestireno expandido	73	0,041	15,00	1,780	
	Estuco	5	1,352	1858,00	0,004	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

### B.3. Construcciones posteriores al año 2007

Tabla XLVIII. Materiales de la envolvente, tipologías 1-2-3-4-6.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,05	5,714
	Vidrio monolítico	6	1,200	2500,00	0,005	
	Aire interior				0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	1,366
	Estuco	15	1,352	1858,00	0,011	
	Ladrillo	140	0,500	1920	0,280	
	Poliestireno expandido	10	0,043	10	0,233	
	Yeso cartón	10	0,260	700	0,038	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,463
	Pino	10	0,140	419	0,071	
	Poliestireno expandido	75	0,041	15	1,829	
	Pino	10	0,140	419	0,071	
	Yeso cartón	12	0,260	700	0,046	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

Tabla XLIX. Materiales de la envolvente, tipología 5.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,05	5,714
	Vidrio monolítico	6	1,200	2500,00	0,005	
	Aire interior				0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,507
	Pino 20% humedad	76,2	0,140	419	0,544	
	Poliestireno expandido	50,0	0,041	15	1,220	
	Yeso cartón	10,0	0,250	700	0,040	
	Aire interior				0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,463
	Pino	10,0	0,140	419	0,071	
	Poliestireno expandido	75,0	0,041	15	1,829	
	Pino	10,0	0,140	419	0,071	
	Yeso cartón	12,0	0,260	700	0,046	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

Tabla L. Materiales de la envolvente, tipologías 7-8.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Ventanas	Aire exterior	-	-	-	0,00	3,448
	Vidrio monolítico	3	1,200	2500,00	0,003	
	Aire	20	-	-	0,165	
	Vidrio monolítico	3	1,200	2500,00	0,003	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Muros	Aire exterior	-	-	-	0,05	1,471
	Hormigón armado	200	1,630	2400,00	0,123	
	Poliestireno expandido	15	0,043	10,00	0,349	
	Yeso cartón	10	0,260	700,00	0,038	
	Aire interior	-	-	-	0,120	
Techo	Aire exterior	-	-	-	0,05	0,469
	Hormigón liviano	10	0,120	550,00	0,083	
	Hormigón armado	200	1,630	2400,00	0,123	
	Poliestireno expandido	73	0,041	15,00	1,780	
	Estuco	5	1,352	1858,00	0,004	
	Aire interior	-	-	-	0,090	

#### B.4. Cubierta vegetal

La cubierta vegetal se implementó como la capa más externa del techo. Las propiedades del sustrato son las siguientes.

Tabla LI. Propiedades del sustrato de la cubierta vegetal.

Elemento	Material	Espesor [mm]	Conductividad [W/m-k]	Densidad [kg/m3]	R [m2-K/W]	U [W/m2-K]
Cubierta vegetal	Sustrato	100	0,3	1400	0,333	3,00

Tabla LII. Propiedades de la vegetación de la cubierta vegetal.

Altura de vegetación [m]	0,10
Índice de área de hojas (LAI)	2,00
Reflectividad de las hojas	0,22
Emisividad de las hojas	0,95
Resistencia estómic mínima [s/m]	150,00
Máximo contenido volumétrico de humedad en saturación	0,50
Mínimo contenido volumétrico de humedad residual	0,01
Contenido volumétrico de humedad inicial	0,15

## Anexo C (Resultados)

### C.1. Ganancias y pérdidas térmicas por tipología y año de construcción.

A continuación, se presentan los resultados de las ganancias y pérdidas térmicas obtenidos para cada tipología y por año de construcción. Los valores positivos representan ganancias térmicas y los valores negativos representan pérdidas térmicas.

Tabla LIII. Resultados anuales tipología 1.

Tipología 1	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	1.608,84	1.608,84	1.577,31	1.608,84	1.608,84	1.577,31
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	6.590,36	5.456,88	4.309,71	5.466,02	5.206,67	4.066,11
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	4.104,57	3.661,91	3.319,60	3.124,84	3.347,09	2.976,34
<b>Tª del Aire [°C]</b>	20,76	20,77	20,99	20,63	20,75	20,97
<b>Tª Radiante [°C]</b>	21,20	21,41	21,94	21,08	21,38	21,91
<b>Tª Operativa [°C]</b>	20,98	21,09	21,46	20,85	21,07	21,44
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-4.003,49	-4.052,07	-4.296,51	-3.859,00	-4.016,31	-4.259,94
<b>Muros [kWh]</b>	-5.149,54	-5.336,33	-3.792,91	-4.899,13	-5.280,43	-3.764,34
<b>Techos [kWh]</b>	-1.517,73	-503,97	-589,97	-1.816,32	-666,03	-750,78
<b>Suelos S.T. [kWh]</b>	-585,10	-606,51	-667,75	-566,97	-601,76	-663,03
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-6.991,58	-7.002,53	-7.099,26	-6.857,71	-6.989,09	-7.086,03
<b>Iluminación General [kWh]</b>	1.608,84	1.608,84	1.577,31	1.608,84	1.608,84	1.577,31
<b>Ocupación [kWh]</b>	2.940,10	2.933,47	2.863,29	2.936,45	2.933,34	2.861,72
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	11.090,63	11.090,63	10.978,54	11.090,63	11.090,63	10.978,54
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	6.590,36	5.456,88	4.309,71	5.466,02	5.206,67	4.066,11
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-3.620,85	-3.221,34	-2.913,24	-2.740,81	-2.939,53	-2.607,13
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-3.628,40	-3.227,43	-2.918,99	-2.745,12	-2.944,47	-2.611,54
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-4.104,57	-3.661,91	-3.319,60	-3.124,84	-3.347,09	-2.976,34
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	6.590,36	5.456,88	4.309,71	5.466,02	5.206,67	4.066,11
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25

Tabla LIV. Resultados anuales tipología 2.

Tipología 2	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Años 2000	2000-2007	Después 2007	Años 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	6.443,77	6.443,77	6.355,13	6.443,77	6.443,77	6.355,13
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	18.199,18	15.736,85	12.712,45	15.794,63	15.216,52	12.201,41
<b>Refrigeración [Elec] [kWh]</b>	11.013,21	9.956,17	9.070,95	8.599,97	9.156,33	8.192,62
<b>Tª del Aire [°C]</b>	20,68	20,69	20,86	20,58	20,67	20,85
<b>Tª Radiante [°C]</b>	21,30	21,44	21,90	21,18	21,41	21,86
<b>Tª Operativa [°C]</b>	20,99	21,06	21,38	20,88	21,04	21,36
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-12.181,61	-12.267,36	-12.867,60	-	-	-12.771,20
<b>Muros [kWh]</b>	-12.757,95	-13.054,92	-9.144,80	-	-	-9.074,35
<b>Techos [kWh]</b>	-3.574,97	-1.286,41	-1.370,08	-4.771,52	-1.846,57	-1.938,43
<b>Suelos S.T. [kWh]</b>	-1.099,06	-1.110,17	-1.208,47	-1.087,04	-1.106,83	-1.205,80
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-24.639,48	-24.663,70	-25.006,11	-	-	-24.968,42
<b>Iluminación General [kWh]</b>	6.443,77	6.443,77	6.355,13	6.443,77	6.443,77	6.355,13
<b>Ocupación [kWh]</b>	11.736,31	11.722,23	11.520,74	11.743,76	11.728,57	11.525,20
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	27.702,41	27.702,41	27.524,69	27.702,41	27.702,41	27.524,69
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	18.199,18	15.736,85	12.712,46	15.794,63	15.216,52	12.201,41
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-9.664,51	-8.722,70	-7.936,23	-7.519,57	-8.014,79	-7.160,31
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-9.684,06	-8.738,47	-7.950,41	-7.531,18	-8.027,88	-7.171,45
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-11.013,21	-9.956,17	-9.070,95	-8.599,97	-9.156,33	-8.192,62
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	18.199,18	15.736,85	12.712,46	15.794,63	15.216,52	12.201,41
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25

Tabla LV. Resultados anuales tipología 3.

Tipología 3	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	3.485,82	3.485,82	3.420,60	3.485,82	3.485,82	3.420,60
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	8.875,81	7.569,42	5.856,23	7.559,67	7.277,08	5.572,14
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	7.111,13	6.601,33	6.192,81	5.795,26	6.163,84	5.709,86
<b>Tª del Aire [°C]</b>	20,94	20,95	21,18	20,86	20,95	21,18
<b>Tª Radiante [°C]</b>	21,49	21,64	22,16	21,40	21,62	22,14
<b>Tª Operativa [°C]</b>	21,21	21,30	21,67	21,13	21,28	21,66
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-7.604,08	-7.666,25	-8.072,40	-7.420,45	-7.623,20	-8.031,77
<b>Muros [kWh]</b>	-8.133,59	-8.332,40	-5.879,38	-7.886,40	-8.282,59	-5.860,15
<b>Techos [kWh]</b>	-2.113,96	-777,75	-842,20	-2.602,68	-1.018,75	-1.079,40
<b>Suelos S.T. [kWh]</b>	-655,24	-661,89	-724,37	-650,98	-661,42	-724,28
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-	-	-	-	-	-
	11.220,27	11.246,07	11.421,41	11.092,23	-11.241,21	-11.422,10
<b>Iluminación General [kWh]</b>	3.485,82	3.485,82	3.420,60	3.485,82	3.485,82	3.420,60
<b>Ocupación [kWh]</b>	6.310,69	6.299,07	6.149,09	6.308,74	6.300,78	6.148,79
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	17.511,40	17.511,40	17.339,26	17.511,40	17.511,40	17.339,26
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	8.875,81	7.569,42	5.856,23	7.559,67	7.277,08	5.572,14
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-6.273,74	-5.812,56	-5.443,09	-5.090,37	-5.421,54	-5.011,62
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-6.287,04	-5.823,96	-5.454,44	-5.099,11	-5.431,37	-5.021,07
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-7.111,13	-6.601,33	-6.192,81	-5.795,27	-6.163,84	-5.709,86
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	8.875,81	7.569,42	5.856,23	7.559,67	7.277,08	5.572,14
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25

Tabla LVI. Resultados anuales tipología 4.

Tipología 4	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	1.441,93	1.441,93	1.415,37	1.441,93	1.441,93	1.415,37
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	5.531,14	4.971,03	3.726,16	4.970,76	4.842,31	3.604,41
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	2.100,37	1.759,18	1.382,19	1.541,87	1.583,90	1.199,77
<b>Tª del Aire [°C]</b>	19,94	19,89	19,92	19,85	19,88	19,91
<b>Tª Radiante [°C]</b>	19,97	19,95	20,22	19,85	19,92	20,19
<b>Tª Operativa [°C]</b>	19,95	19,92	20,07	19,85	19,90	20,05
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-1.146,37	-1.132,88	-1.164,54	-1.112,13	-1.124,46	-1.155,82
<b>Muros [kWh]</b>	-3.409,26	-3.346,30	-2.349,41	-3.208,32	-3.298,95	-2.321,86
<b>Techos [kWh]</b>	-275,04	-124,53	-122,61	-574,30	-240,95	-237,32
<b>Suelos S.T. [kWh]</b>	-143,59	-142,92	-155,36	-141,27	-142,49	-154,89
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-5.767,42	-5.719,82	-5.648,53	-5.681,22	-5.709,68	-5.639,24
<b>Iluminación General [kWh]</b>	1.441,93	1.441,93	1.415,37	1.441,93	1.441,93	1.415,37
<b>Ocupación [kWh]</b>	2.642,24	2.642,98	2.587,72	2.646,09	2.644,59	2.589,07
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	2.874,10	2.874,10	2.874,10	2.874,10	2.874,10	2.874,10
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	5.531,14	4.971,03	3.726,16	4.970,76	4.842,31	3.604,41
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-1.838,68	-1.536,32	-1.202,64	-1.344,56	-1.381,84	-1.042,46
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-1.841,18	-1.538,10	-1.203,86	-1.346,03	-1.383,33	-1.043,40
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-2.100,37	-1.759,18	-1.382,20	-1.541,87	-1.583,90	-1.199,77
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	5.531,14	4.971,03	3.726,16	4.970,76	4.842,31	3.604,41
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24

Tabla LVII. Resultados anuales tipología 5.

Tipología 5	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	1.981,97	1.981,97	1.946,82	1.981,97	1.981,97	1.946,82
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	3.908,01	2.534,86	1.921,18	2.803,95	2.314,52	1.714,95
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	2.747,74	1.853,06	1.570,20	1.367,90	1.405,10	1.108,52
<b>Tª del Aire [°C]</b>	20,40	20,39	20,60	20,21	20,36	20,58
<b>Tª Radiante [°C]</b>	20,83	21,00	21,42	20,53	20,91	21,34
<b>Tª Operativa [°C]</b>	20,62	20,69	21,01	20,37	20,64	20,96
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-1.102,89	-1.106,13	-1.150,40	-1.034,79	-1.088,79	-1.133,12
<b>Muros [kWh]</b>	-1.423,25	-1.479,36	-682,46	-1.260,89	-1.440,00	-667,38
<b>Techos [kWh]</b>	-1.035,66	-320,29	-405,45	-1.554,92	-585,46	-664,62
<b>Suelos S.T. [kWh]</b>	-491,11	-512,06	-568,30	-443,09	-498,33	-554,34
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-5.891,50	-5.891,60	-5.988,58	-5.718,95	-5.871,66	-5.968,87
<b>Iluminación General [kWh]</b>	1.981,97	1.981,97	1.946,82	1.981,97	1.981,97	1.946,82
<b>Ocupación [kWh]</b>	3.593,71	3.581,38	3.505,64	3.591,32	3.583,02	3.507,19
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	2.848,93	2.848,93	2.818,36	2.848,93	2.848,93	2.818,36
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	3.908,01	2.534,86	1.921,18	2.803,95	2.314,52	1.714,95
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-2.404,53	-1.611,90	-1.363,55	-1.185,35	-1.218,48	-959,64
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-2.407,97	-1.613,31	-1.364,74	-1.186,18	-1.219,31	-960,22
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-2.747,74	-1.853,06	-1.570,20	-1.367,90	-1.405,10	-1.108,52
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	3.908,01	2.534,86	1.921,18	2.803,95	2.314,52	1.714,95
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25



Tabla LVIII. Resultados anuales tipología 6.

Tipología 6	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	2.397,54	2.397,54	2.359,57	2.397,54	2.397,54	2.359,57
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	5.914,24	4.895,62	3.715,39	5.052,35	4.715,35	3.549,49
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	3.868,16	3.335,83	2.823,63	2.886,88	2.994,28	2.462,65
<b>Tª del Aire [°C]</b>	20,31	20,30	20,47	20,22	20,30	20,47
<b>Tª Radiante [°C]</b>	20,62	20,71	21,10	20,49	20,68	21,07
<b>Tª Operativa [°C]</b>	20,47	20,51	20,78	20,35	20,49	20,77
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-2.606,32	-2.608,12	-2.711,26	-2.525,03	-2.588,40	-2.692,66
<b>Muros [kWh]</b>	-4.104,11	-4.164,03	-2.973,96	-3.888,53	-4.115,29	-2.949,59
<b>Techos [kWh]</b>	-1.127,97	-414,01	-435,06	-1.604,16	-634,18	-650,41
<b>Suelos S.T. [kWh]</b>	-320,75	-323,52	-355,35	-316,03	-322,63	-354,58
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-7.416,95	-7.408,96	-7.495,25	-7.313,02	-7.404,80	-7.494,78
<b>Iluminación General [kWh]</b>	2.397,54	2.397,54	2.359,57	2.397,54	2.397,54	2.359,57
<b>Ocupación [kWh]</b>	4.354,88	4.348,69	4.260,44	4.356,87	4.350,30	4.260,61
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	6.080,59	6.080,59	6.031,71	6.080,59	6.080,59	6.031,71
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	5.914,24	4.895,62	3.715,39	5.052,35	4.715,35	3.549,49
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-3.397,20	-2.921,03	-2.464,69	-2.522,29	-2.617,83	-2.145,50
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-3.402,44	-2.924,76	-2.467,50	-2.525,23	-2.620,92	-2.147,67
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-3.868,16	-3.335,83	-2.823,63	-2.886,88	-2.994,28	-2.462,65
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	5.914,24	4.895,62	3.715,39	5.052,35	4.715,35	3.549,49
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25

Tabla LIX. Resultados anuales tipología 7.

Tipología 7	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	1.854,17	1.854,17	1.850,36	1.854,17	1.854,17	1.850,36
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	895,52	568,39	497,77	661,50	525,33	455,94
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	3.109,34	3.383,92	3.508,49	2.846,93	3.261,07	3.382,39
<b>Tª del Aire [°C]</b>	22,15	22,56	22,68	22,27	22,57	22,69
<b>Tª Radiante [°C]</b>	24,12	24,84	25,04	24,30	24,85	25,05
<b>Tª Operativa [°C]</b>	23,14	23,70	23,86	23,29	23,71	23,87
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-1.542,97	-1.712,94	-1.755,43	-1.583,34	-1.713,15	-1.756,25
<b>Muros [kWh]</b>	-674,14	-755,09	-404,92	-693,98	-755,21	-405,24
<b>Techos [kWh]</b>	-2.453,64	-874,55	-896,32	-2.187,90	-922,41	-945,19
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-7.493,95	-7.875,49	-7.968,27	-7.608,03	-7.886,16	-7.981,39
<b>Iluminación General [kWh]</b>	1.854,17	1.854,17	1.850,36	1.854,17	1.854,17	1.850,36
<b>Ocupación [kWh]</b>	3.211,33	3.180,73	3.164,53	3.204,97	3.180,58	3.164,10
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	8.559,06	8.559,06	8.559,06	8.559,06	8.559,06	8.559,06
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	895,52	568,39	497,77	661,50	525,33	455,94
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-2.717,46	-2.964,16	-3.074,43	-2.489,06	-2.857,30	-2.964,75
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-2.719,26	-2.966,37	-3.076,77	-2.490,78	-2.859,49	-2.967,05
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-3.109,34	-3.383,92	-3.508,49	-2.846,93	-3.261,07	-3.382,39
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	895,52	568,39	497,77	661,50	525,33	455,94
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,26	2,27	2,27	2,26	2,27	2,27

Tabla LX. Resultados anuales tipología 8.

Tipología 8	Sin cubierta vegetal			Con cubierta vegetal		
	Antes 2000	2000-2007	Después 2007	Antes 2000	2000-2007	Después 2007
<b>Año de construcción</b>						
<b>Iluminación [kWh]</b>	3.176,34	3.176,34	3.166,96	3.176,34	3.176,34	3.166,96
<b>Calefacción [Electricidad] [kWh]</b>	3.438,94	2.748,77	2.141,63	3.005,39	2.652,74	2.043,20
<b>Refrigeración [Electricidad] [kWh]</b>	3.948,36	4.012,55	4.354,59	3.479,50	3.824,30	4.145,35
<b>Tª del Aire [°C]</b>	21,16	21,38	21,65	21,20	21,37	21,65
<b>Tª Radiante [°C]</b>	22,47	22,93	23,48	22,54	22,91	23,47
<b>Tª Operativa [°C]</b>	21,82	22,15	22,57	21,87	22,14	22,56
<b>Tª Ext. BS [°C]</b>	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43	14,43
<b>Acristalamiento [kWh]</b>	-1.575,09	-1.704,94	-1.849,98	-1.588,69	-1.698,02	-1.845,31
<b>Muros [kWh]</b>	-3.462,04	-3.773,18	-2.156,51	-3.500,13	-3.757,91	-2.152,25
<b>Techos [kWh]</b>	-3.026,75	-1.074,26	-1.200,37	-2.853,48	-1.200,12	-1.314,57
<b>Infiltración Ext. [kWh]</b>	-	-	-	-	-11.673,58	-12.091,94
<b>Iluminación General [kWh]</b>	3.176,34	3.176,34	3.166,96	3.176,34	3.176,34	3.166,96
<b>Ocupación [kWh]</b>	5.635,25	5.616,52	5.565,98	5.639,25	5.619,53	5.568,26
<b>Gan. Solares Ventanas Ext. [kWh]</b>	10.308,46	10.308,46	10.293,08	10.308,46	10.308,46	10.293,08
<b>Calef. Sens. de Zona [kWh]</b>	3.438,94	2.748,77	2.141,63	3.005,39	2.652,74	2.043,20
<b>Refrig. Sens. de Zona [kWh]</b>	-3.433,46	-3.491,25	-3.790,94	-3.023,37	-3.326,79	-3.608,06
<b>Enfriamiento Sensible [kWh]</b>	-3.435,63	-3.493,68	-3.793,67	-3.025,30	-3.329,12	-3.610,69
<b>Enfriamiento Total [kWh]</b>	-3.948,36	-4.012,55	-4.354,59	-3.479,50	-3.824,30	-4.145,35
<b>Calentamiento Total [kWh]</b>	3.438,94	2.748,77	2.141,63	3.005,39	2.652,74	2.043,20
<b>Vent. Mec. y Nat. + Infiltr. [renov/h]</b>	2,25	2,26	2,26	2,25	2,26	2,26

## C.2. Gráficos de pérdidas térmicas por elemento de la envolvente.

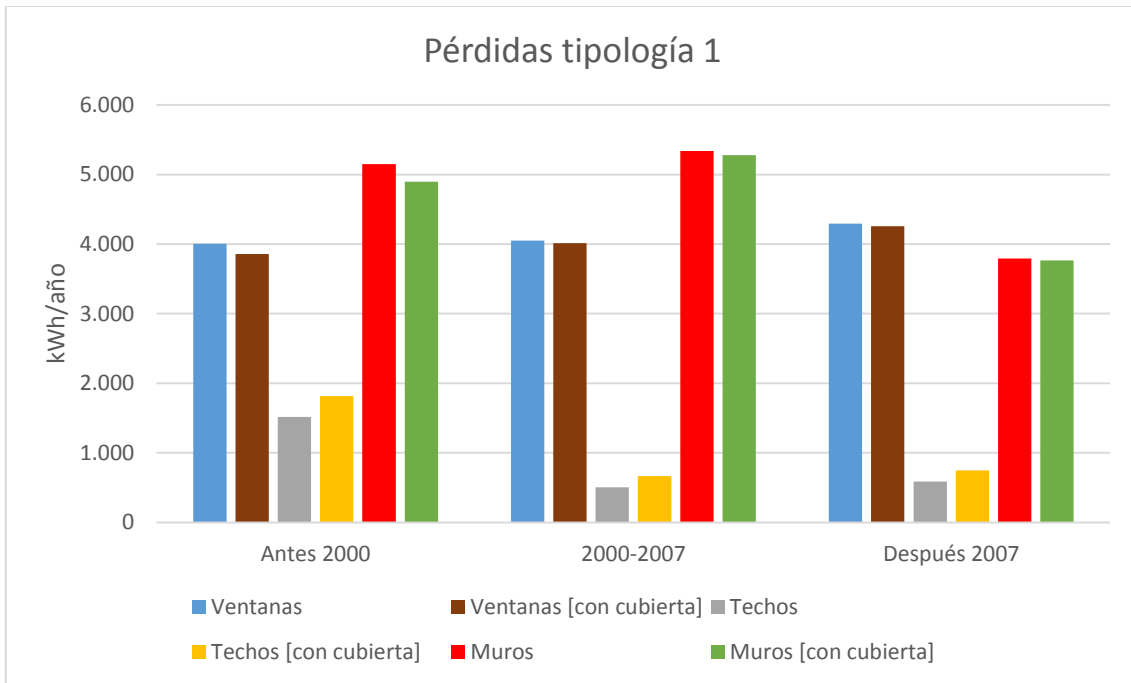


Ilustración 61. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 1.

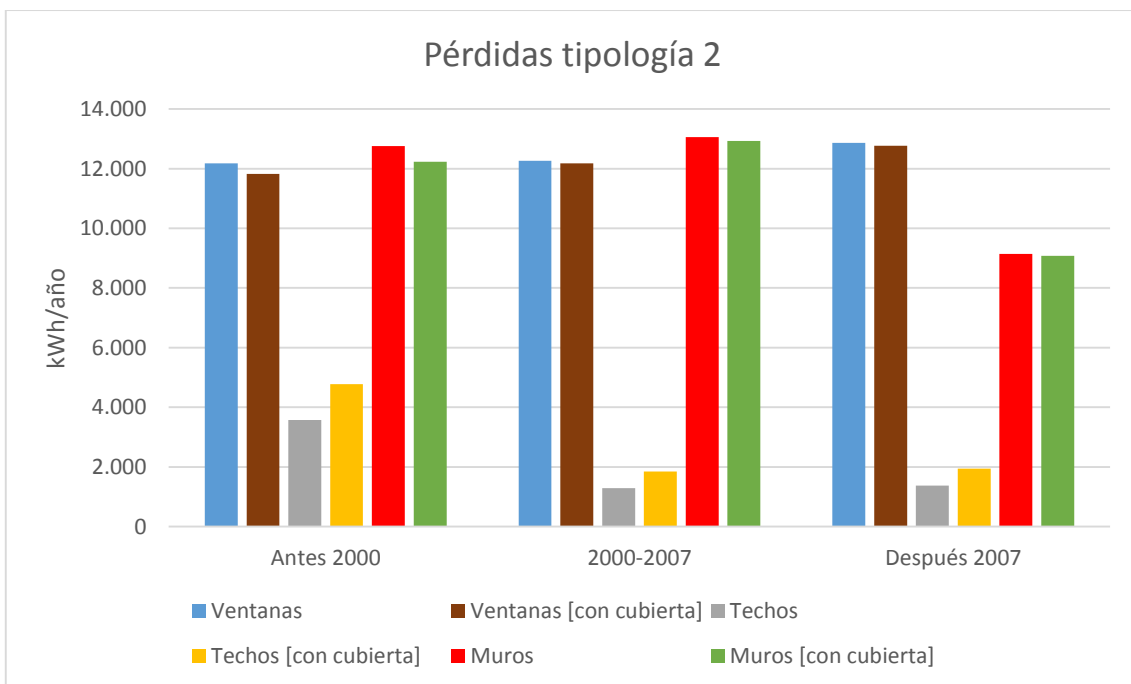


Ilustración 62. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 2.

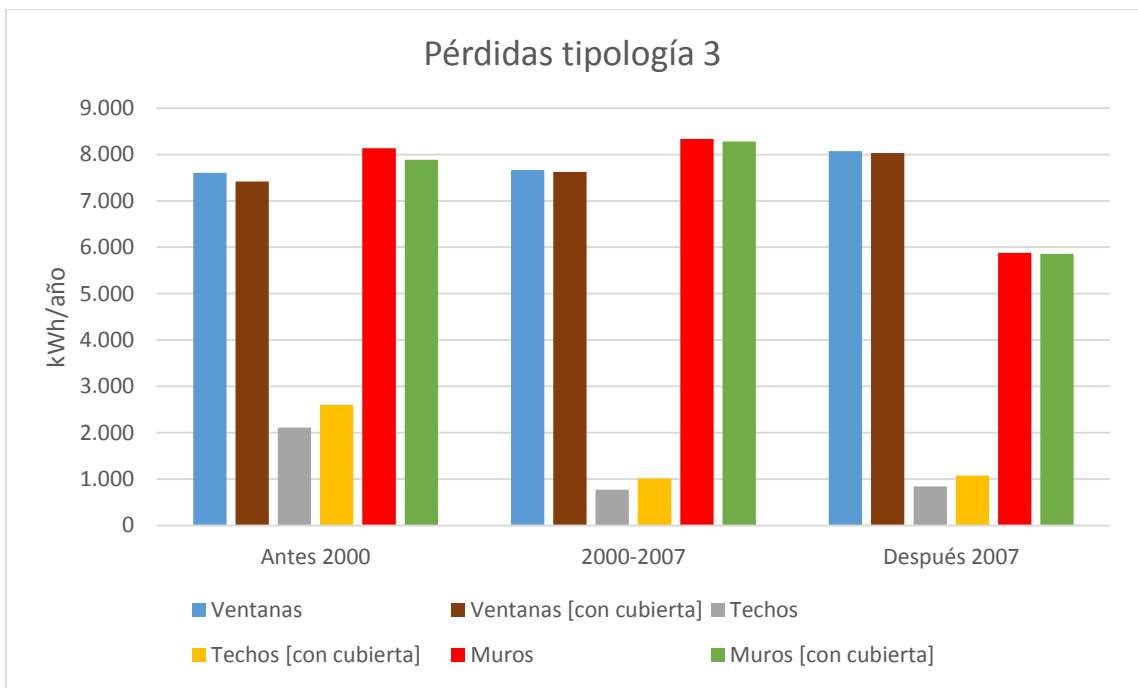


Ilustración 63. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 3.

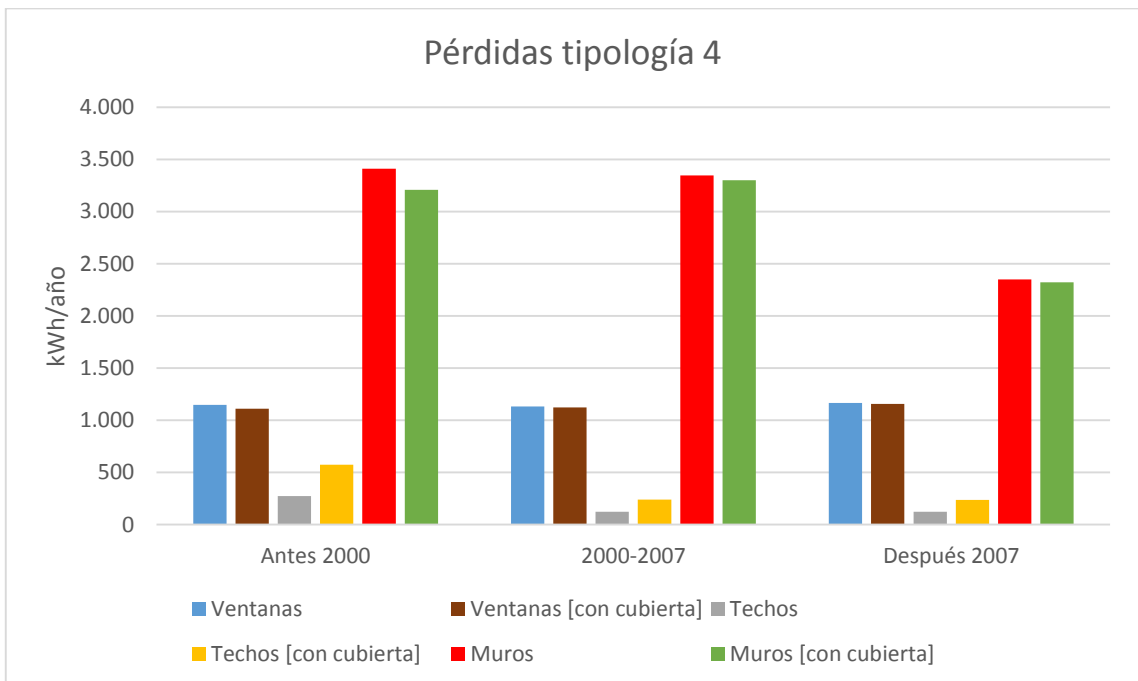


Ilustración 64. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 4.

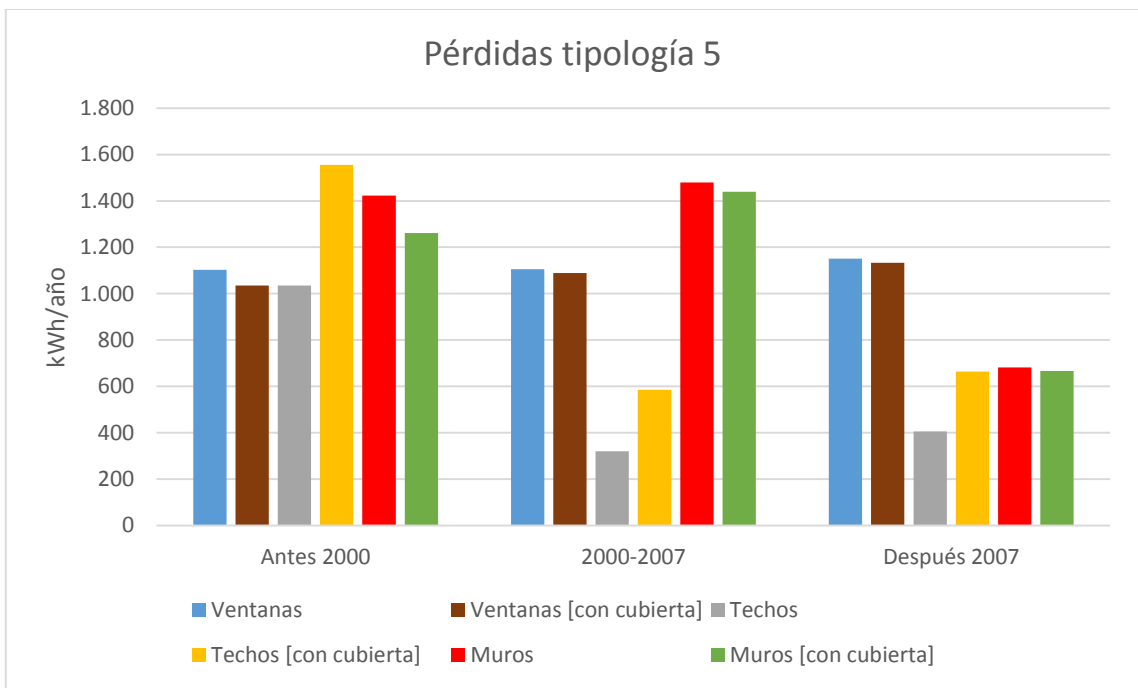


Ilustración 65. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 5.

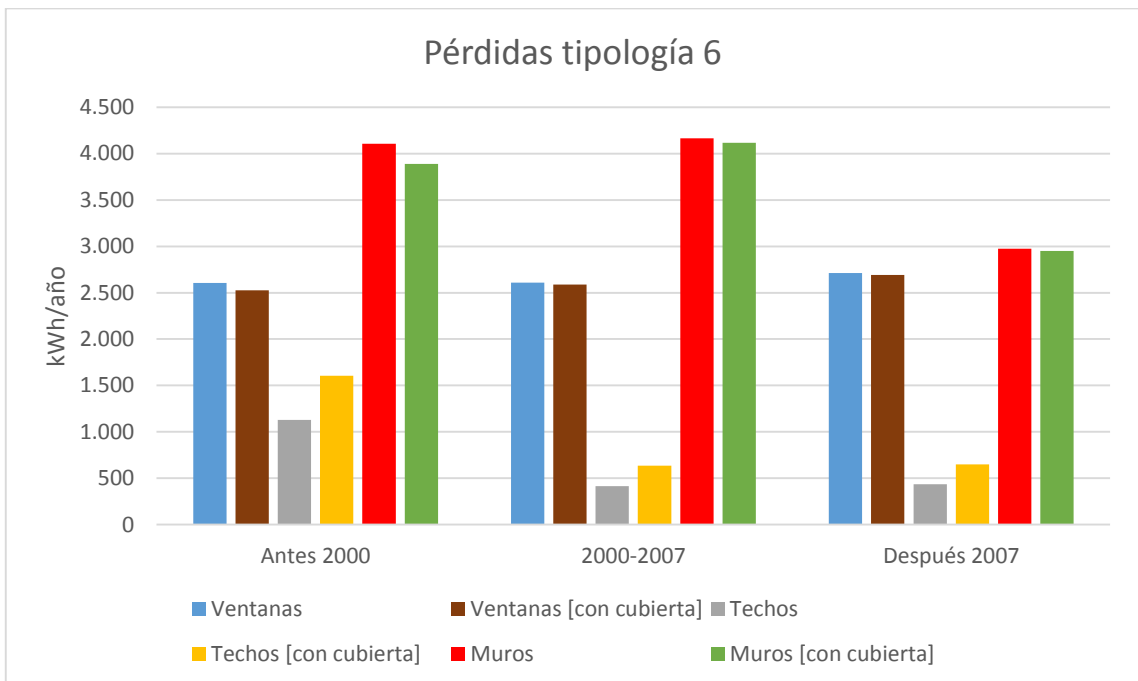


Ilustración 66. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 6.

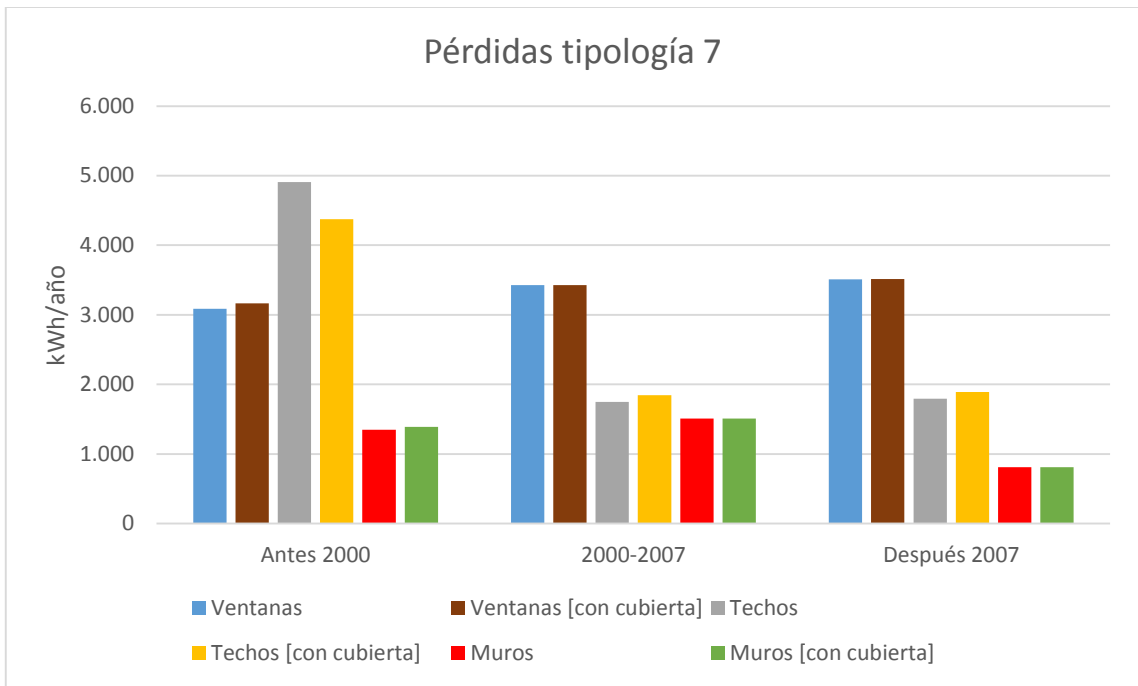


Ilustración 67. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 7.

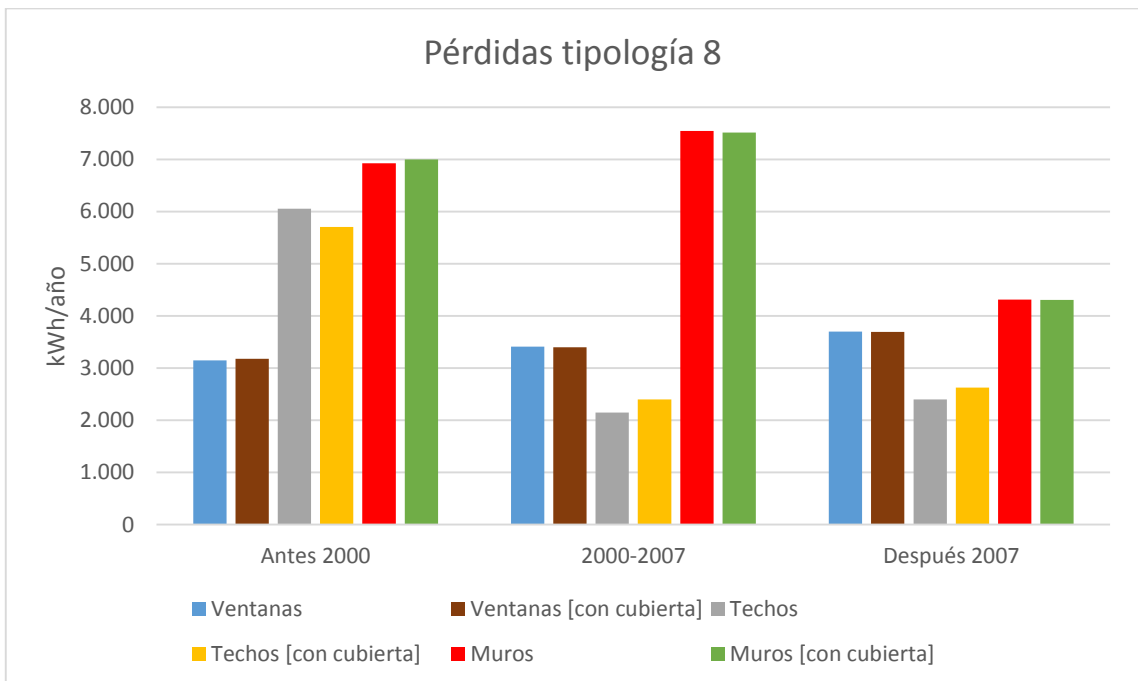


Ilustración 68. Pérdidas térmicas de la envolvente, tipología 8.

### C.3. Demanda energética

Al multiplicar la cantidad de viviendas que existen por año por la cantidad de kWh demandados para alcanzar la temperatura de confort dentro de la vivienda, se obtiene el consumo energético por tipología para cada año.

Tabla LXI. Consumo energético para tipologías sin cubierta vegetal.

Año	Consumo energético total por tipologías sin cubierta vegetal [GWh/año]							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
2015	4.045,26	2.680,02	1.666,93	365,00	3.022,62	2.737,31	232,12	309,68
2016	4.075,95	2.701,20	1.680,18	367,61	3.040,13	2.756,89	240,05	319,45
2017	4.107,10	2.722,69	1.693,62	370,27	3.057,89	2.776,76	248,11	329,37
2018	4.138,69	2.744,49	1.707,25	372,97	3.075,91	2.796,92	256,28	339,43
2019	4.170,75	2.766,61	1.721,09	375,70	3.094,20	2.817,37	264,56	349,64
2020	4.203,27	2.789,06	1.735,13	378,47	3.112,75	2.838,13	272,98	360,00
2021	4.233,03	2.809,59	1.747,97	381,01	3.129,73	2.857,11	280,67	369,48
2022	4.263,26	2.830,45	1.761,01	383,59	3.146,97	2.876,40	288,49	379,10
2023	4.293,96	2.851,64	1.774,26	386,21	3.164,48	2.895,99	296,43	388,88
2024	4.325,15	2.873,16	1.787,72	388,87	3.182,27	2.915,89	304,49	398,81
2025	4.356,83	2.895,02	1.801,39	391,57	3.200,34	2.936,10	312,68	408,90
2026	4.389,01	2.917,23	1.815,28	394,32	3.218,70	2.956,63	321,00	419,15
2027	4.421,70	2.939,78	1.829,39	397,11	3.237,35	2.977,49	329,46	429,56
2028	4.454,90	2.962,70	1.843,72	399,94	3.256,29	2.998,67	338,04	440,13
2029	4.488,63	2.985,97	1.858,27	402,81	3.275,52	3.020,19	346,76	450,87
2030	4.522,89	3.009,61	1.873,06	405,74	3.295,07	3.042,05	355,62	461,78
2031	4.551,40	3.029,28	1.885,36	408,17	3.311,33	3.060,24	362,99	470,86
2032	4.580,28	3.049,21	1.897,82	410,63	3.327,80	3.078,67	370,46	480,06
2033	4.609,53	3.069,40	1.910,45	413,13	3.344,49	3.097,33	378,02	489,38
2034	4.639,17	3.089,84	1.923,23	415,65	3.361,39	3.116,24	385,69	498,81
2035	4.669,18	3.110,56	1.936,19	418,21	3.378,51	3.135,39	393,45	508,37
2036	4.699,58	3.131,53	1.949,31	420,81	3.395,85	3.154,78	401,31	518,05
2037	4.730,38	3.152,78	1.962,60	423,43	3.413,42	3.174,43	409,27	527,86
2038	4.761,57	3.174,31	1.976,06	426,10	3.431,21	3.194,33	417,34	537,79
2039	4.793,16	3.196,11	1.989,69	428,79	3.449,23	3.214,49	425,51	547,85
2040	4.825,17	3.218,19	2.003,50	431,52	3.467,49	3.234,91	433,78	558,05
2041	4.852,08	3.236,77	2.015,12	433,82	3.482,84	3.252,08	440,74	566,62
2042	4.879,29	3.255,54	2.026,86	436,14	3.498,36	3.269,44	447,78	575,28
2043	4.906,78	3.274,51	2.038,72	438,48	3.514,04	3.286,98	454,89	584,04
2044	4.934,57	3.293,69	2.050,72	440,85	3.529,89	3.304,71	462,07	592,89
2045	4.962,66	3.313,07	2.062,84	443,25	3.545,92	3.322,63	469,33	601,83
2046	4.991,05	3.332,66	2.075,09	445,67	3.562,11	3.340,75	476,67	610,87
2047	5.019,74	3.352,46	2.087,47	448,12	3.578,48	3.359,06	484,09	620,01
2048	5.048,74	3.372,47	2.099,99	450,59	3.595,02	3.377,56	491,59	629,24
2049	5.078,06	3.392,70	2.112,64	453,09	3.611,74	3.396,26	499,17	638,58
2050	5.107,69	3.413,15	2.125,42	455,62	3.628,64	3.415,17	506,83	648,01



Tabla LXII. Consumo energético para tipologías con cubierta vegetal.

Año	Consumo energético total por tipologías con cubierta vegetal [GWh/año]							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
2015	3.329,53	2.287,36	1.420,21	317,94	1.983,38	2.273,93	213,22	284,22
2016	3.357,89	2.307,22	1.432,62	320,41	1.997,63	2.291,98	220,82	293,53
2017	3.386,67	2.327,37	1.445,20	322,92	2.012,10	2.310,29	228,53	302,98
2018	3.415,85	2.347,81	1.457,97	325,46	2.026,77	2.328,86	236,35	312,56
2019	3.445,47	2.368,56	1.470,93	328,03	2.041,66	2.347,71	244,29	322,29
2020	3.475,52	2.389,60	1.484,08	330,65	2.056,77	2.366,84	252,35	332,15
2021	3.503,02	2.408,86	1.496,11	333,04	2.070,59	2.384,33	259,71	341,18
2022	3.530,94	2.428,42	1.508,33	335,47	2.084,63	2.402,10	267,20	350,35
2023	3.559,31	2.448,28	1.520,74	337,94	2.098,89	2.420,16	274,80	359,66
2024	3.588,13	2.468,46	1.533,35	340,45	2.113,38	2.438,49	282,52	369,13
2025	3.617,40	2.488,96	1.546,15	343,00	2.128,09	2.457,12	290,37	378,74
2026	3.647,13	2.509,78	1.559,16	345,59	2.143,04	2.476,04	298,34	388,50
2027	3.677,33	2.530,93	1.572,37	348,22	2.158,22	2.495,26	306,43	398,41
2028	3.708,00	2.552,42	1.585,80	350,89	2.173,64	2.514,78	314,65	408,49
2029	3.739,16	2.574,24	1.599,43	353,60	2.189,31	2.534,61	323,00	418,72
2030	3.770,82	2.596,41	1.613,28	356,35	2.205,22	2.554,75	331,49	429,11
2031	3.797,16	2.614,86	1.624,80	358,65	2.218,46	2.571,52	338,55	437,76
2032	3.823,84	2.633,54	1.636,48	360,97	2.231,87	2.588,50	345,70	446,52
2033	3.850,87	2.652,47	1.648,30	363,32	2.245,46	2.605,70	352,94	455,39
2034	3.878,24	2.671,64	1.660,28	365,70	2.259,22	2.623,12	360,28	464,38
2035	3.905,97	2.691,06	1.672,41	368,12	2.273,16	2.640,76	367,71	473,49
2036	3.934,06	2.710,73	1.684,70	370,56	2.287,28	2.658,64	375,24	482,71
2037	3.962,51	2.730,66	1.697,15	373,04	2.301,59	2.676,74	382,86	492,05
2038	3.991,33	2.750,84	1.709,76	375,55	2.316,07	2.695,08	390,58	501,51
2039	4.020,52	2.771,28	1.722,53	378,09	2.330,75	2.713,66	398,41	511,10
2040	4.050,09	2.791,99	1.735,46	380,66	2.345,61	2.732,48	406,33	520,81
2041	4.074,95	2.809,41	1.746,34	382,83	2.358,11	2.748,30	413,00	528,97
2042	4.100,09	2.827,01	1.757,34	385,01	2.370,75	2.764,29	419,73	537,22
2043	4.125,49	2.844,80	1.768,45	387,22	2.383,52	2.780,46	426,54	545,57
2044	4.151,16	2.862,78	1.779,69	389,46	2.396,43	2.796,80	433,42	554,00
2045	4.177,12	2.880,95	1.791,04	391,72	2.409,47	2.813,31	440,38	562,52
2046	4.203,34	2.899,32	1.802,52	394,00	2.422,66	2.830,01	447,41	571,13
2047	4.229,85	2.917,89	1.814,11	396,31	2.435,99	2.846,88	454,51	579,83
2048	4.256,65	2.936,65	1.825,84	398,64	2.449,46	2.863,93	461,69	588,63
2049	4.283,73	2.955,62	1.837,69	401,00	2.463,07	2.881,16	468,95	597,52
2050	4.311,10	2.974,79	1.849,66	403,38	2.476,83	2.898,58	476,29	606,51

## C.4. Distribución del uso de los combustibles de calefacción

Tabla LXIII. Distribución de los combustibles durante el periodo de evaluación. Fuente: elaboración propia con datos de la CDT [15].

Año	Tipologías 1, 2, 3, 4, 5 y 6					Tipologías 7 y 8				
	Leña	GLP	GN	Kerosene	Electricidad	Leña	GLP	GN	Kerosene	Electricidad
2013	33%	28%	13%	23%	3%	0%	39%	30%	26%	5%
2014	33%	28%	13%	24%	3%	0%	36%	32%	27%	5%
2015	32%	27%	13%	24%	4%	0%	34%	33%	28%	5%
2016	31%	27%	13%	25%	4%	0%	31%	35%	29%	5%
2017	30%	26%	13%	26%	5%	0%	29%	36%	30%	5%
2018	29%	25%	13%	26%	6%	0%	26%	37%	31%	5%
2019	28%	25%	13%	27%	8%	0%	24%	39%	32%	5%
2020	27%	24%	13%	27%	9%	0%	22%	40%	33%	5%
2021	27%	23%	13%	27%	10%	0%	21%	40%	33%	6%
2022	26%	23%	13%	28%	10%	0%	21%	40%	32%	6%
2023	26%	23%	13%	28%	10%	0%	20%	41%	32%	7%
2024	26%	22%	13%	29%	11%	0%	20%	41%	32%	8%
2025	25%	22%	13%	29%	11%	0%	19%	41%	31%	9%
2026	25%	21%	13%	30%	12%	0%	18%	41%	31%	10%
2027	24%	21%	13%	30%	12%	0%	18%	41%	31%	11%
2028	24%	20%	13%	30%	13%	0%	17%	40%	30%	12%
2029	24%	20%	13%	31%	13%	0%	17%	40%	30%	14%
2030	23%	19%	13%	31%	13%	0%	16%	40%	29%	15%
2031	23%	20%	13%	31%	13%	0%	16%	40%	28%	15%
2032	23%	20%	13%	31%	13%	0%	17%	40%	27%	16%
2033	22%	20%	13%	31%	14%	0%	17%	40%	26%	16%
2034	22%	20%	13%	31%	14%	0%	18%	40%	25%	17%
2035	22%	21%	13%	31%	14%	0%	18%	40%	24%	17%
2036	21%	21%	13%	31%	14%	0%	18%	40%	23%	18%
2037	21%	21%	13%	31%	14%	0%	19%	40%	22%	18%
2038	21%	22%	13%	31%	14%	0%	19%	40%	22%	19%
2039	21%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	21%	19%
2040	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2041	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2042	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2043	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2044	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2045	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2046	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2047	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2048	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2049	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%
2050	20%	22%	13%	31%	14%	0%	20%	40%	20%	20%

## C.5. Proyección del precio de los combustibles

Tabla LXIV. Proyección del precio de los combustibles. Fuente: elaboración propia con datos de la CDT [15].

Año	Leña		GLP		GN	
	Variación	Precio [UF/GWh]	Variación	Precio [UF/GWh]	Variación	Precio [UF/GWh]
2015	-	860,00	-	3.000,00	-	4.300,00
2016	1%	868,60	2%	3.060,00	1%	4.343,00
2017	1%	877,29	2%	3.121,20	2%	4.429,86
2018	1%	886,06	2%	3.183,62	2%	4.518,46
2019	1%	894,92	2%	3.247,30	2%	4.608,83
2020	1%	903,87	2%	3.312,24	2%	4.701,00
2021	1%	912,91	2%	3.378,49	2%	4.795,02
2022	1%	922,04	2%	3.446,06	2%	4.890,92
2023	1%	931,26	2%	3.514,98	2%	4.988,74
2024	1%	940,57	2%	3.585,28	2%	5.088,52
2025	1%	949,98	2%	3.656,98	2%	5.190,29
2026	1%	959,47	2%	3.730,12	2%	5.294,09
2027	1%	969,07	2%	3.804,73	2%	5.399,97
2028	1%	978,76	2%	3.880,82	2%	5.507,97
2029	1%	988,55	2%	3.958,44	2%	5.618,13
2030	1%	998,43	2%	4.037,61	2%	5.730,50
2031	1%	1.008,42	2%	4.118,36	2%	5.845,11
2032	1%	1.018,50	2%	4.200,72	2%	5.962,01
2033	1%	1.028,69	2%	4.284,74	2%	6.081,25
2034	1%	1.038,97	2%	4.370,43	2%	6.202,87
2035	1%	1.049,36	2%	4.457,84	2%	6.326,93
2036	1%	1.059,86	2%	4.547,00	2%	6.453,47
2037	1%	1.070,46	2%	4.637,94	2%	6.582,54
2038	1%	1.081,16	2%	4.730,70	2%	6.714,19
2039	1%	1.091,97	2%	4.825,31	2%	6.848,47
2040	1%	1.102,89	2%	4.921,82	2%	6.985,44
2041	1%	1.113,92	2%	5.020,25	2%	7.125,15
2042	1%	1.125,06	2%	5.120,66	2%	7.267,65
2043	1%	1.136,31	2%	5.223,07	2%	7.413,01
2044	1%	1.147,67	2%	5.327,53	2%	7.561,27
2045	1%	1.159,15	2%	5.434,08	2%	7.712,49
2046	1%	1.170,74	2%	5.542,77	2%	7.866,74
2047	1%	1.182,45	2%	5.653,62	2%	8.024,08
2048	1%	1.194,27	2%	5.766,69	2%	8.184,56
2049	1%	1.206,22	2%	5.882,03	2%	8.348,25
2050	1%	1.218,28	2%	5.999,67	2%	8.515,22

Tabla LXV. Proyección del precio de los combustibles. Fuente: elaboración propia con datos de la CDT [15].

Año	Kerosene		Electricidad	
	Variación	Precio [UF/GWh]	Variación	Precio [UF/GWh]
2015	-	2.200,00	-	5.700,00
2016	1%	2.222,00	2%	5.814,00
2017	1%	2.244,22	2%	5.930,28
2018	2%	2.289,10	-1%	5.870,98
2019	2%	2.334,89	-5%	5.577,43
2020	2%	2.381,58	0%	5.577,43
2021	2%	2.429,22	1%	5.633,20
2022	2%	2.477,80	1%	5.689,53
2023	2%	2.527,36	1%	5.746,43
2024	2%	2.577,90	1%	5.803,89
2025	2%	2.629,46	1%	5.861,93
2026	2%	2.682,05	1%	5.920,55
2027	2%	2.735,69	1%	5.979,76
2028	2%	2.790,41	1%	6.039,56
2029	2%	2.846,21	1%	6.099,95
2030	2%	2.903,14	1%	6.160,95
2031	2%	2.961,20	1%	6.222,56
2032	2%	3.020,42	1%	6.284,79
2033	2%	3.080,83	1%	6.347,63
2034	2%	3.142,45	1%	6.411,11
2035	2%	3.205,30	1%	6.475,22
2036	2%	3.269,40	1%	6.539,97
2037	2%	3.334,79	1%	6.605,37
2038	2%	3.401,49	1%	6.671,43
2039	2%	3.469,52	1%	6.738,14
2040	2%	3.538,91	1%	6.805,52
2041	2%	3.609,69	1%	6.873,58
2042	2%	3.681,88	1%	6.942,31
2043	2%	3.755,52	1%	7.011,74
2044	2%	3.830,63	1%	7.081,85
2045	2%	3.907,24	1%	7.152,67
2046	2%	3.985,39	1%	7.224,20
2047	2%	4.065,09	1%	7.296,44
2048	2%	4.146,40	1%	7.369,41
2049	2%	4.229,32	1%	7.443,10
2050	2%	4.313,91	1%	7.517,53

## C.6. Costos de implementación de las cubiertas vegetales

Al multiplicar el área de tejado de cada tipología por la cantidad de viviendas existentes en un cierto año y por el precio de instalación de las cubiertas vegetales (5 UF/m<sup>2</sup>), se obtiene el costo de instalación de esta tecnología. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla LXVI. Costo de instalación de las cubiertas vegetales por año. Fuente: elaboración propia.

Año	Costo de implementación de las cubiertas vegetales [miles de UF/año]							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
2015	125.887	59.355	37.326	7.054	208.040	84.847	21.957	27.429
2016	1.297	612	385	73	2.144	874	752	940
2017	1.316	620	390	74	2.175	887	763	954
2018	1.335	629	396	75	2.206	900	774	967
2019	1.355	639	402	76	2.239	913	786	982
2020	1.375	648	408	77	2.272	926	797	996
2021	1.258	593	373	70	2.078	848	729	911
2022	1.277	602	379	72	2.111	861	741	926
2023	1.298	612	385	73	2.144	875	753	940
2024	1.318	621	391	74	2.178	888	765	955
2025	1.339	631	397	75	2.213	902	777	970
2026	1.360	641	403	76	2.247	917	789	985
2027	1.381	651	410	77	2.283	931	801	1.001
2028	1.403	662	416	79	2.319	946	814	1.017
2029	1.425	672	423	80	2.355	961	827	1.033
2030	1.448	683	429	81	2.393	976	840	1.049
2031	1.205	568	357	68	1.991	812	699	873
2032	1.220	575	362	68	2.017	823	708	884
2033	1.236	583	367	69	2.043	833	717	896
2034	1.252	590	371	70	2.069	844	726	907
2035	1.268	598	376	71	2.096	855	736	919
2036	1.285	606	381	72	2.123	866	745	931
2037	1.301	614	386	73	2.151	877	755	943
2038	1.318	622	391	74	2.178	888	765	955
2039	1.335	630	396	75	2.207	900	774	967
2040	1.352	638	401	76	2.235	912	784	980
2041	1.137	536	337	64	1.880	767	660	824
2042	1.150	542	341	64	1.900	775	667	833
2043	1.162	548	345	65	1.920	783	674	842
2044	1.174	554	348	66	1.941	792	681	851
2045	1.187	560	352	67	1.962	800	689	860
2046	1.200	566	356	67	1.983	809	696	869
2047	1.213	572	360	68	2.004	817	703	879
2048	1.226	578	363	69	2.025	826	711	888
2049	1.239	584	367	69	2.047	835	719	898
2050	1.252	590	371	70	2.069	844	726	907

## C.7. Gasto económico para los distintos escenarios de implementación de las cubiertas vegetales

Tabla LXVII. Gasto total acumulado para tipologías sin cubierta vegetal.

Año	Gasto total acumulado por tipologías sin cubierta vegetal [Millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	14,49	9,52	6,31	1,17	11,06	9,88	1,22	1,44	55,08
2016	29,44	19,34	12,81	2,38	22,46	20,07	2,50	2,95	111,95
2017	44,89	29,51	19,54	3,64	34,21	30,60	3,86	4,54	170,77
2018	60,60	39,84	26,36	4,92	46,12	41,29	5,25	6,19	230,57
2019	76,19	50,11	33,10	6,20	57,89	51,88	6,62	7,83	289,84
2020	92,16	60,64	40,00	7,52	69,92	62,73	8,05	9,54	350,56
2021	108,51	71,41	47,04	8,87	82,21	73,82	9,53	11,32	412,72
2022	125,23	82,44	54,26	10,25	94,75	85,17	11,08	13,18	476,35
2023	142,34	93,73	61,63	11,67	107,56	96,77	12,68	15,11	541,50
2024	159,85	105,29	69,18	13,12	120,65	108,64	14,35	17,13	608,20
2025	177,77	117,12	76,90	14,61	134,01	120,77	16,09	19,22	676,50
2026	196,12	129,24	84,80	16,14	147,66	133,19	17,90	21,41	746,44
2027	214,90	141,65	92,88	17,70	161,61	145,90	19,77	23,68	818,07
2028	234,12	154,35	101,15	19,30	175,85	158,89	21,72	26,05	891,44
2029	253,80	167,37	109,61	20,94	190,41	172,20	23,74	28,51	966,58
2030	273,95	180,70	118,28	22,62	205,29	185,81	25,84	31,07	1.043,56
2031	294,54	194,32	127,12	24,34	220,46	199,70	28,01	33,73	1.122,21
2032	315,56	208,23	136,16	26,10	235,92	213,89	30,25	36,47	1.202,58
2033	337,04	222,45	145,38	27,89	251,70	228,38	32,56	39,31	1.284,71
2034	358,98	236,98	154,80	29,73	267,79	243,17	34,95	42,24	1.368,64
2035	381,39	251,83	164,42	31,61	284,20	258,27	37,42	45,28	1.454,42
2036	404,29	267,01	174,25	33,53	300,94	273,70	39,96	48,42	1.542,09
2037	427,69	282,52	184,28	35,49	318,01	289,46	42,59	51,66	1.631,71
2038	451,60	298,37	194,54	37,50	335,43	305,55	45,30	55,01	1.723,31
2039	476,04	314,58	205,01	39,56	353,20	321,99	48,09	58,48	1.816,95
2040	501,01	331,15	215,71	41,66	371,34	338,78	50,97	62,06	1.912,68
2041	526,47	348,05	226,62	43,80	389,80	355,90	53,93	65,74	2.010,30
2042	552,43	365,28	237,74	45,99	408,59	373,34	56,98	69,52	2.109,86
2043	578,89	382,85	249,07	48,22	427,73	391,12	60,10	73,42	2.211,40
2044	605,87	400,77	260,62	50,49	447,22	409,24	63,31	77,42	2.314,95
2045	633,38	419,05	272,40	52,82	467,06	427,71	66,61	81,54	2.420,57
2046	661,44	437,70	284,40	55,19	487,27	446,54	69,99	85,77	2.528,30
2047	690,05	456,71	296,65	57,60	507,85	465,73	73,47	90,12	2.638,18
2048	719,23	476,11	309,12	60,07	528,81	485,30	77,04	94,60	2.750,28
2049	748,98	495,90	321,85	62,59	550,16	505,25	80,71	99,20	2.864,63
2050	779,33	516,09	334,82	65,16	571,90	525,58	84,47	103,92	2.981,28

Tabla LXVIII. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de un año para implementación).

Año	Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (tiempo de un año de implementación para viviendas existentes) [Millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	133,86	64,83	40,73	7,82	212,79	90,29	22,67	28,38	601,36
2016	143,43	71,13	44,64	8,68	219,85	96,81	24,17	30,32	639,02
2017	153,36	77,67	48,71	9,57	227,15	103,58	25,73	32,32	678,09
2018	163,68	84,47	52,94	10,50	234,68	110,60	27,34	34,39	718,61
2019	174,34	91,51	57,31	11,47	242,44	117,85	29,00	36,54	760,45
2020	185,43	98,84	61,87	12,47	250,46	125,40	30,73	38,75	803,96
2021	196,71	106,32	66,52	13,49	258,46	133,07	32,44	40,95	847,95
2022	208,30	114,02	71,31	14,54	266,66	140,95	34,21	43,22	893,22
2023	220,23	121,95	76,24	15,62	275,08	149,05	36,05	45,59	939,80
2024	232,51	130,10	81,31	16,74	283,71	157,39	37,95	48,04	987,74
2025	245,14	138,50	86,53	17,88	292,56	165,96	39,94	50,58	1.037,08
2026	258,13	147,15	91,91	19,06	301,64	174,77	42,00	53,22	1.087,87
2027	271,50	156,05	97,44	20,27	310,96	183,84	44,13	55,96	1.140,16
2028	285,26	165,22	103,14	21,52	320,53	193,16	46,36	58,80	1.193,98
2029	299,42	174,66	109,01	22,81	330,34	202,75	48,66	61,75	1.249,40
2030	313,99	184,38	115,06	24,13	340,41	212,62	51,06	64,82	1.306,47
2031	328,67	194,23	121,18	25,47	350,27	222,56	53,39	67,80	1.363,58
2032	343,73	204,33	127,47	26,84	360,37	232,75	55,80	70,88	1.422,18
2033	359,18	214,71	133,92	28,25	370,70	243,20	58,29	74,07	1.482,32
2034	375,03	225,35	140,54	29,70	381,27	253,92	60,87	77,37	1.544,05
2035	391,29	236,28	147,33	31,18	392,09	264,91	63,54	80,78	1.607,40
2036	407,97	247,49	154,31	32,71	403,16	276,18	66,30	84,30	1.672,43
2037	425,09	259,00	161,46	34,27	414,50	287,74	69,16	87,95	1.739,18
2038	442,65	270,82	168,82	35,87	426,11	299,60	72,12	91,71	1.807,70
2039	460,68	282,96	176,36	37,51	437,99	311,76	75,17	95,61	1.878,05
2040	479,18	295,41	184,11	39,20	450,15	324,24	78,33	99,63	1.950,27
2041	497,86	308,05	191,97	40,91	462,19	336,85	81,45	103,61	2.022,88
2042	516,97	320,97	200,01	42,67	474,47	349,73	84,66	107,69	2.097,17
2043	536,51	334,20	208,23	44,46	487,01	362,90	87,96	111,90	2.173,17
2044	556,50	347,73	216,64	46,29	499,81	376,37	91,36	116,22	2.250,93
2045	576,95	361,57	225,25	48,16	512,88	390,14	94,86	120,67	2.330,49
2046	597,86	375,73	234,06	50,07	526,23	404,22	98,47	125,25	2.411,90
2047	619,25	390,22	243,08	52,03	539,86	418,62	102,17	129,97	2.495,21
2048	641,14	405,06	252,30	54,04	553,77	433,35	105,99	134,82	2.580,46
2049	663,53	420,23	261,74	56,09	567,98	448,41	109,92	139,81	2.667,71
2050	686,44	435,77	271,41	58,18	582,49	463,81	113,97	144,94	2.757,00

Tabla LXIX. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de 5 años para implementación).

Año	Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (tiempo de 5 años de implementación para viviendas existentes) [Millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	38,36	20,58	13,19	2,50	51,41	25,96	5,51	6,83	164,34
2016	77,02	41,17	26,31	5,02	103,87	52,11	11,70	14,54	331,75
2017	114,73	61,20	39,01	7,49	155,30	77,62	17,85	22,23	495,45
2018	151,53	80,69	51,29	9,92	205,71	102,50	23,96	29,88	655,47
2019	187,37	99,59	63,13	12,29	255,07	126,73	30,01	37,51	811,69
2020	198,47	106,93	67,68	13,29	263,09	134,27	31,74	39,73	855,20
2021	209,74	114,41	72,34	14,31	271,09	141,94	33,44	41,92	899,19
2022	221,34	122,10	77,12	15,37	279,30	149,82	35,22	44,20	944,46
2023	233,26	130,03	82,05	16,45	287,71	157,92	37,05	46,56	991,04
2024	245,54	138,19	87,12	17,56	296,34	166,26	38,96	49,01	1.038,98
2025	258,17	146,59	92,34	18,71	305,19	174,83	40,95	51,55	1.088,32
2026	271,16	155,23	97,72	19,89	314,28	183,64	43,00	54,19	1.139,11
2027	284,53	164,14	103,26	21,10	323,60	192,71	45,14	56,93	1.191,40
2028	298,29	173,30	108,96	22,35	333,16	202,03	47,36	59,78	1.245,22
2029	312,45	182,74	114,83	23,63	342,97	211,63	49,67	62,73	1.300,64
2030	327,02	192,46	120,87	24,95	353,04	221,49	52,07	65,80	1.357,71
2031	341,70	202,31	127,00	26,29	362,90	231,43	54,40	68,78	1.414,82
2032	356,76	212,42	133,28	27,67	373,00	241,62	56,81	71,86	1.473,42
2033	372,21	222,79	139,73	29,08	383,33	252,07	59,30	75,05	1.533,56
2034	388,06	233,44	146,35	30,52	393,90	262,79	61,88	78,34	1.595,29
2035	404,32	244,36	153,14	32,01	404,72	273,78	64,55	81,75	1.658,64
2036	421,00	255,58	160,12	33,53	415,80	285,05	67,31	85,28	1.723,67
2037	438,12	267,09	167,28	35,09	427,13	296,61	70,17	88,92	1.790,42
2038	455,68	278,91	174,63	36,69	438,74	308,47	73,13	92,69	1.858,94
2039	473,71	291,04	182,18	38,34	450,62	320,64	76,18	96,58	1.929,29
2040	492,21	303,50	189,92	40,03	462,79	333,12	79,34	100,61	2.001,51
2041	510,89	316,13	197,78	41,74	474,82	345,72	82,46	104,58	2.074,12
2042	530,00	329,06	205,82	43,49	487,10	358,60	85,67	108,67	2.148,41
2043	549,54	342,28	214,04	45,28	499,64	371,77	88,97	112,87	2.224,41
2044	569,53	355,81	222,46	47,11	512,45	385,24	92,37	117,20	2.302,17
2045	589,98	369,65	231,07	48,98	525,52	399,01	95,87	121,65	2.381,73
2046	610,89	383,82	239,88	50,90	538,86	413,09	99,47	126,23	2.463,14
2047	632,29	398,31	248,89	52,86	552,49	427,49	103,18	130,94	2.546,45
2048	654,17	413,14	258,12	54,86	566,40	442,22	107,00	135,79	2.631,70
2049	676,56	428,32	267,56	56,91	580,61	457,28	110,93	140,78	2.718,95
2050	699,47	443,85	277,22	59,01	595,12	472,68	114,98	145,92	2.808,24



Tabla LXX. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de 10 años para implementación).

Año	Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (tiempo de 10 años de implementación para viviendas existentes) [Millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	26,42	15,05	9,75	1,84	31,24	17,92	3,36	4,13	109,71
2016	53,79	30,51	19,72	3,73	64,16	36,47	7,46	9,20	225,06
2017	80,88	45,82	29,56	5,62	96,68	54,83	11,57	14,29	339,25
2018	107,69	60,99	39,26	7,51	128,81	73,00	15,68	19,40	452,33
2019	134,20	75,98	48,82	9,38	160,52	90,96	19,79	24,53	564,18
2020	160,49	90,86	58,28	11,25	191,88	108,76	23,91	29,68	675,12
2021	186,31	105,49	67,53	13,10	222,57	126,24	27,97	34,77	783,99
2022	211,79	119,94	76,63	14,94	252,85	143,50	32,03	39,88	891,57
2023	236,96	134,20	85,58	16,77	282,69	160,53	36,12	45,04	997,90
2024	261,83	148,29	94,39	18,59	312,13	177,35	40,22	50,23	1.103,03
2025	274,45	156,69	99,61	19,74	320,98	185,92	42,21	52,77	1.152,37
2026	287,45	165,34	104,99	20,91	330,07	194,73	44,26	55,41	1.203,16
2027	300,82	174,24	110,52	22,13	339,39	203,80	46,40	58,15	1.255,44
2028	314,58	183,41	116,22	23,38	348,95	213,12	48,62	60,99	1.309,27
2029	328,74	192,85	122,09	24,66	358,76	222,72	50,93	63,95	1.364,69
2030	343,31	202,57	128,14	25,98	368,83	232,58	53,33	67,02	1.421,76
2031	357,99	212,42	134,26	27,32	378,69	242,52	55,66	70,00	1.478,86
2032	373,05	222,52	140,55	28,70	388,79	252,71	58,07	73,08	1.537,47
2033	388,50	232,90	147,00	30,11	399,12	263,16	60,56	76,27	1.597,61
2034	404,35	243,54	153,62	31,55	409,69	273,88	63,14	79,56	1.659,33
2035	420,61	254,47	160,41	33,04	420,51	284,87	65,81	82,97	1.722,69
2036	437,29	265,68	167,39	34,56	431,58	296,14	68,57	86,50	1.787,71
2037	454,41	277,19	174,55	36,12	442,92	307,70	71,43	90,14	1.854,46
2038	471,97	289,01	181,90	37,72	454,53	319,56	74,39	93,91	1.922,99
2039	490,00	301,15	189,44	39,37	466,41	331,73	77,44	97,80	1.993,34
2040	508,50	313,61	197,19	41,06	478,58	344,21	80,60	101,83	2.065,56
2041	527,18	326,24	205,05	42,77	490,61	356,81	83,72	105,80	2.138,17
2042	546,29	339,16	213,09	44,52	502,89	369,69	86,93	109,89	2.212,46
2043	565,83	352,39	221,31	46,31	515,43	382,86	90,23	114,09	2.288,46
2044	585,82	365,92	229,73	48,14	528,24	396,33	93,63	118,42	2.366,22
2045	606,27	379,76	238,33	50,01	541,31	410,10	97,13	122,87	2.445,78
2046	627,18	393,92	247,14	51,93	554,65	424,18	100,73	127,45	2.527,19
2047	648,57	408,41	256,16	53,89	568,28	438,58	104,44	132,16	2.610,49
2048	670,46	423,25	265,38	55,89	582,19	453,31	108,26	137,01	2.695,75
2049	692,85	438,42	274,82	57,94	596,40	468,37	112,19	142,00	2.782,99
2050	715,75	453,96	284,49	60,04	610,91	483,77	116,24	147,14	2.872,29

Tabla LXXI. Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (periodo de 20 años para implementación).

Año	Gasto total acumulado para tipologías con cubiertas vegetales (tiempo de 20 años de implementación para viviendas existentes) [Millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	20,45	12,28	8,03	1,51	21,15	13,90	2,29	2,78	82,40
2016	42,18	25,18	16,42	3,09	44,30	28,66	5,34	6,53	171,71
2017	63,95	38,13	24,83	4,69	67,37	43,43	8,43	10,32	261,15
2018	85,77	51,14	33,25	6,30	90,36	58,25	11,54	14,16	350,76
2019	107,61	64,17	41,67	7,92	113,25	73,07	14,68	18,04	440,42
2020	129,57	77,30	50,13	9,57	136,10	87,97	17,85	21,96	530,45
2021	151,37	90,38	58,54	11,21	158,60	102,76	20,99	25,85	619,69
2022	173,17	103,47	66,94	12,86	181,00	117,54	24,16	29,79	708,92
2023	194,97	116,59	75,33	14,52	203,29	132,33	27,37	33,79	798,19
2024	216,80	129,73	83,72	16,20	225,48	147,12	30,63	37,86	887,53
2025	238,65	142,92	92,12	17,88	247,58	161,93	33,94	41,99	977,00
2026	260,55	156,15	100,52	19,58	269,59	176,76	37,30	46,19	1.066,63
2027	282,49	169,43	108,94	21,29	291,52	191,62	40,71	50,48	1.156,48
2028	304,50	182,78	117,38	23,01	313,38	206,52	44,18	54,84	1.246,59
2029	326,58	196,20	125,84	24,75	335,17	221,46	47,71	59,28	1.337,01
2030	348,75	209,70	134,34	26,51	356,90	236,46	51,31	63,82	1.427,79
2031	370,71	223,12	142,76	28,26	378,12	251,31	54,81	68,25	1.517,34
2032	392,71	236,60	151,20	30,03	399,25	266,19	58,37	72,75	1.607,10
2033	414,78	250,14	159,67	31,81	420,29	281,10	61,99	77,33	1.697,11
2034	436,93	263,75	168,15	33,61	441,27	296,06	65,66	82,00	1.787,43
2035	453,18	274,68	174,95	35,10	452,09	307,05	68,33	85,41	1.850,79
2036	469,87	285,89	181,92	36,62	463,16	318,32	71,09	88,93	1.915,81
2037	486,98	297,41	189,08	38,18	474,50	329,88	73,95	92,58	1.982,56
2038	504,55	309,22	196,43	39,78	486,11	341,74	76,91	96,35	2.051,09
2039	522,57	321,36	203,98	41,43	497,99	353,90	79,96	100,24	2.121,43
2040	541,07	333,82	211,73	43,11	510,15	366,38	83,12	104,27	2.193,66
2041	559,76	346,45	219,58	44,83	522,19	378,99	86,24	108,24	2.266,27
2042	578,87	359,38	227,62	46,58	534,47	391,87	89,45	112,32	2.340,56
2043	598,41	372,60	235,85	48,37	547,01	405,04	92,75	116,53	2.416,56
2044	618,40	386,13	244,26	50,20	559,82	418,51	96,15	120,85	2.494,32
2045	638,84	399,97	252,87	52,07	572,89	432,28	99,65	125,31	2.573,88
2046	659,76	414,13	261,68	53,99	586,23	446,36	103,25	129,89	2.655,29
2047	681,15	428,63	270,69	55,95	599,86	460,76	106,96	134,60	2.738,59
2048	703,03	443,46	279,92	57,95	613,77	475,49	110,78	139,45	2.823,85
2049	725,42	458,63	289,36	60,00	627,98	490,55	114,71	144,44	2.911,09
2050	748,33	474,17	299,02	62,09	642,49	505,95	118,76	149,58	3.000,39

Año	Gasto total acumulado para tipologías sin cubierta vegetal construidas después del año 2015 [millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	0,46	0,31	0,20	0,04	0,33	0,31	0,07	0,08	1,79
2017	1,43	0,95	0,62	0,12	1,02	0,96	0,21	0,23	5,53
2018	2,66	1,77	1,14	0,23	1,86	1,77	0,38	0,44	10,24
2019	3,76	2,52	1,57	0,33	2,57	2,48	0,54	0,65	14,42
2020	5,24	3,53	2,15	0,48	3,54	3,45	0,75	0,92	20,07
2021	7,10	4,78	2,90	0,66	4,76	4,67	1,02	1,26	27,15
2022	9,34	6,29	3,80	0,87	6,24	6,13	1,35	1,68	35,70
2023	11,96	8,06	4,87	1,12	7,98	7,85	1,74	2,18	45,76
2024	14,99	10,10	6,11	1,39	10,00	9,84	2,19	2,76	57,38
2025	18,42	12,42	7,52	1,71	12,30	12,10	2,71	3,42	70,60
2026	22,28	15,02	9,11	2,06	14,89	14,64	3,30	4,16	85,45
2027	26,57	17,91	10,89	2,45	17,77	17,46	3,96	5,00	102,00
2028	31,31	21,10	12,85	2,88	20,96	20,58	4,69	5,93	120,28
2029	36,51	24,59	15,01	3,35	24,45	24,00	5,49	6,96	140,35
2030	42,17	28,40	17,37	3,85	28,26	27,73	6,38	8,08	162,25
2031	48,27	32,50	19,90	4,40	32,37	31,75	7,33	9,30	185,82
2032	54,81	36,90	22,63	4,98	36,77	36,06	8,35	10,60	211,10
2033	61,80	41,60	25,55	5,61	41,48	40,66	9,45	12,00	238,15
2034	69,25	46,61	28,66	6,27	46,50	45,57	10,62	13,50	267,00
2035	77,18	51,95	31,97	6,98	51,85	50,80	11,87	15,10	297,69
2036	85,59	57,60	35,49	7,72	57,52	56,35	13,20	16,80	330,28
2037	94,50	63,60	39,22	8,51	63,53	62,22	14,61	18,61	364,81
2038	103,93	69,93	43,17	9,35	69,89	68,44	16,10	20,52	401,33
2039	113,88	76,62	47,34	10,23	76,60	75,00	17,68	22,55	439,89
2040	124,36	83,68	51,73	11,16	83,67	81,91	19,34	24,69	480,54
2041	135,34	91,05	56,33	12,13	91,06	89,15	21,09	26,94	523,08
2042	146,81	98,77	61,14	13,14	98,80	96,71	22,91	29,28	567,56
2043	158,78	106,82	66,17	14,20	106,87	104,61	24,82	31,74	614,01
2044	171,28	115,22	71,41	15,30	115,29	112,85	26,82	34,31	662,48
2045	184,31	123,98	76,88	16,45	124,07	121,44	28,90	36,99	713,02
2046	197,87	133,11	82,58	17,65	133,22	130,39	31,06	39,78	765,66
2047	212,00	142,61	88,51	18,89	142,73	139,70	33,33	42,70	820,47
2048	226,69	152,49	94,69	20,19	152,63	149,39	35,68	45,74	877,48
2049	241,96	162,76	101,10	21,53	162,91	159,46	38,13	48,90	936,75
2050	257,82	173,43	107,77	22,93	173,59	169,91	40,68	52,19	998,32

Año	Gasto total acumulado para tipologías con cubierta vegetal construidas después del año 2015 [millones de UF/año]								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	1,60	0,82	0,51	0,10	2,32	1,08	0,79	0,99	8,20
2017	3,56	1,89	1,18	0,24	4,86	2,40	1,63	2,04	17,81
2018	5,91	3,21	2,01	0,40	7,65	3,98	2,53	3,17	28,87
2019	8,60	4,77	2,99	0,61	10,65	5,79	3,49	4,36	41,25
2020	11,72	6,63	4,14	0,85	13,93	7,89	4,50	5,63	55,29
2021	15,02	8,63	5,39	1,11	17,18	10,11	5,49	6,87	69,82
2022	18,65	10,86	6,78	1,40	20,64	12,55	6,55	8,20	85,62
2023	22,61	13,31	8,31	1,72	24,30	15,21	7,68	9,61	102,74
2024	26,91	15,99	9,98	2,07	28,18	18,10	8,87	11,11	121,22
2025	31,57	18,91	11,80	2,46	32,29	21,22	10,14	12,70	141,10
2026	36,59	22,08	13,78	2,87	36,62	24,60	11,49	14,39	162,42
2027	41,99	25,51	15,92	3,32	41,20	28,22	12,92	16,18	185,25
2028	47,78	29,20	18,22	3,81	46,01	32,10	14,43	18,08	209,61
2029	53,96	33,16	20,69	4,33	51,07	36,25	16,02	20,08	235,57
2030	60,57	37,41	23,33	4,89	56,39	40,67	17,71	22,20	263,17
2031	67,28	41,78	26,05	5,47	61,51	45,17	19,32	24,23	290,82
2032	74,37	46,41	28,94	6,09	66,86	49,92	21,02	26,36	319,96
2033	81,84	51,31	31,99	6,74	72,44	54,92	22,80	28,60	350,64
2034	89,72	56,47	35,21	7,42	78,26	60,19	24,67	30,95	382,90
2035	98,01	61,92	38,60	8,14	84,33	65,74	26,63	33,41	416,79
2036	106,72	67,66	42,18	8,91	90,66	71,57	28,68	35,98	452,35
2037	115,87	73,70	45,94	9,71	97,25	77,68	30,82	38,68	489,64
2038	125,46	80,04	49,89	10,55	104,11	84,10	33,06	41,50	528,70
2039	135,51	86,70	54,03	11,43	111,24	90,82	35,41	44,44	569,59
2040	146,04	93,68	58,38	12,36	118,66	97,86	37,86	47,52	612,35
2041	156,75	100,84	62,84	13,31	125,94	105,01	40,26	50,54	655,50
2042	167,89	108,29	67,48	14,30	133,48	112,45	42,76	53,68	700,32
2043	179,47	116,04	72,30	15,33	141,27	120,18	45,35	56,93	746,86
2044	191,48	124,09	77,32	16,40	149,32	128,20	48,04	60,31	795,16
2045	203,96	132,45	82,53	17,51	157,65	136,53	50,82	63,81	845,25
2046	216,90	141,14	87,93	18,66	166,24	145,17	53,71	67,44	897,20
2047	230,32	150,16	93,55	19,86	175,12	154,12	56,71	71,20	951,05
2048	244,23	159,51	99,37	21,10	184,29	163,40	59,82	75,10	1.006,83
2049	258,65	169,21	105,41	22,39	193,75	173,02	63,03	79,15	1.064,62
2050	273,59	179,27	111,68	23,73	203,51	182,98	66,37	83,33	1.124,45