Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS PASIVAS DE ENFRIAMIENTO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. - CASO DE ESTUDIO: LA VIVIENDA SOCIAL DE CLIMA CÁLIDO HÚMEDO EN COLOMBIA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: PAULA ESTEFANÍA TORRES LÓPEZ

PROFESOR GUÍA: PAULINA WEGERTSEDER MARTÍNEZ

CONCEPCION, 9 de marzo de 2020

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Resumen

Las condiciones de la vivienda de interés social (VIS) en climas cálidos y húmedos en Colombia generan bajos porcentajes de confort térmico, lo cual establece una notable desventaja frente a las posibilidades de adaptación a los efectos de cambio climático que pronostican aumentos de temperatura significante.

El objetivo de esta investigación es establecer estrategias pasivas que permitirán a los usuarios afrontar el cambio climático de una manera económica y eficiente, generando mejores condiciones de confort térmico en su interior y por ende una reducción en la demanda eléctrica.

Mediante la experimentación con estrategias pasivas de refrigeración de bajo costo y auto construibles, se estudió la implementación progresiva y cronológica de estas para dar cuenta de las posibilidades de adaptación de la VIS en un escenario futuro en los años 2030-2050 y 2080.

Según los resultados obtenidos se estableció una mejora térmica significativa en el año base y en el 2030, mientras que en el 2050 el aporte fue muy bajo, y en el 2080 se logró determinar que no tendrán una contribución considerable, lo que significa que en este momento se deberá considerar la implementación de un sistema de refrigeración activo que tendrá en este caso una demanda menor por el aporte de dichas estrategias.

Palabras claves: Vivienda Social; Cambio climático; enfriamiento pasivo; Clima Cálido – Húmedo

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Abstract

Social housing conditions (VIS) in hot and humid climates in Colombia generate low thermal comfort percentages, being a notable disadvantage compared to the possibilities of adaptation to the effects of climate change predicted with significant temperature increases.

For this reason, the research seeks to establish passive strategies that will allow users to face climate change in an economical and efficient way, generating better thermal comfort conditions inside and therefore a reduction in electricity demand.

Through experimentation with low cost passive strategies and self-construction by its users, its progressive and chronological of these to determine the possibilities of adapting the VIS in future scenarios in the years 2030-2050 and 2080.

According to the results obtained, a significant thermal improvement was established in the base year and in 2030, while in 2050 the contribution was very low, and in 2080 it was possible to determine that they will not have a considerable contribution, which means that in this time, the implementation of an active refrigeration system should be considered, which in this case will have a lower demand for the contribution of these strategies.

Keywords: Social housing; Climate change; Passive cooling; Warm Weather - humid

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Índice

Capítulo 1. Introducción **8**
1.1 Planteamiento del problema **9**
1.2 Hipótesis **11**
1.3 Objetivos general **11**
1.3.1 Objetivos específicos 11
1.4 Metodología **11**
1.4.1 Etapa descriptiva 12
1.4.2 Etapa experimental 13
1.4.3 Etapa comparativa y de resultados 14
Capítulo 2. Cambio Climático y la Vivienda de interés Social en Colombia. **15**
2.1 Cambio climático **15**
2.1.1 Cambio climático en Colombia 19
2.2 Lugar de análisis **23**
2.2.1 Población 24
2.2.2 Clima 25
2.3 Vivienda de interés social en Colombia. **28**
2.3.1 Eficiencia energética en la vivienda colombiana 28
2.3.2 Parque habitacional de la VIS en altura 31
2.3.3 Elección de caso de estudio. 34
Capítulo 3. Estrategias de refrigeración pasiva en la vivienda **35**
3.1 Ventilación Natural **35**
3.1.1 Ventilación cruzada 35
3.1.2 Ventilación natural simple 36
3.1.3 Ventilación natural inducida 36
3.1.4 Ventilación natural de efecto chimenea 37
3.1.5 Enfriamiento por evaporación. 38
3.1.6 Ventilación Nocturna 38
3.2 Control solar **39**
3.2.1 Aleros o voladizo 39
3.2.2 Corredores. 40
3.2.3 Persiana horizontal 40
3.2.4 Pantalla 40
3.2.5 Toldo 41
3.2.6 Pérgola. 42
3.2.7 Muro doble 42
3.3 Materialidad **43**
3.4 Criterios de selección de estrategias para aplicar en este caso. **43**
3.5 Estrategias seleccionadas para el estudio. **45**
3.5.1 Ventilación natural 45
3.5.2 Control solar 46

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.5.3 Materialidad 47
Capítulo 4. Diagnóstico de la temperatura interior de la Vis 49
4.1 Confort 49
4.1.1 Confort térmico 49
4.1.2 Confort adaptativo 50
4.2 Demanda de Refrigeración 52
4.3 Condiciones actuales de la VIS 53
4.4 Mejoramiento de la VIS en la actualidad 55
4.5 La VIS frente al Cambio climático 57
4.5.1 Año Base 58
4.5.2 Año 2030 59
4.5.3 Año 2050 60
4.5.4 Año 2080 61
4.6 Análisis de resultados. 61
4.6.1 Apartamento 1B 62
4.6.2 Apartamento 3B 63
4.6.3 Apartamento 5B 64
1.4.4 Edificio en general 65
Conclusiones 67
Referencias bibliográficas 69
Anexo A 72
Anexo B 76
Anexo C 78
Anexo D 79
Anexo E 81

Índice de figuras.

Figura 1. Imagen geográfica del departamento del Tolima y Melgar 23
Figura 2.Localización de Melgar en el departamento del Tolima 24
Figura 3. Acabados exteriores de la VIS en Colombia 33
Figura 4. Acabados interiores de la VIS en Colombia 33
Figura 5.Estrategias de control solar 47
Figura 6.Estrategias de Ventilación Natural 46

Índice de tablas.

Tabla 1. Escenarios de cambio Climático para Colombia 2011-2100 20
Tabla 2. Distribución de consumo eléctrico por estratos según CORPOEMA. 30

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 3.Consumo de subsistencia de energía eléctrica para poblaciones ubicadas a menos de 1000 ms.n.m (clima cálido)..... 31
Tabla 4. Oferta de proyectos VIS en Colombia 32
Tabla 5. Materialidad en la VIS en Colombia 34
Tabla 6. Selección de estrategias según criterios 44
Tabla 7. Estrategias seleccionadas para estudio 45
Tabla 8.Estrategias de materialidad..... 47
Tabla 9.Rangos de confort adaptativo 52
Tabla 10. Condiciones de uso y ocupación de la VIS 53
Tabla 11. Apartamentos objeto de análisis inicial 55
Tabla 12.Resultados de estrategias pasivas de refrigeración 56
Tabla 13.Resultados del confort en la vivienda sin intervención. 57
Tabla 14.Rangos de Confort en escenarios futuros. 58
Tabla 15.Resultados de simulación Fase 1 59
Tabla 16.Resultados de simulación Fase Final 60
Tabla 17. Resultados de simulación VIS totalmente mejorada 2050..... 61
Tabla 18.Resultados de simulación VIS totalmente mejorada 2080 61
Tabla 19.Resultados de simulación Apartamento 1B..... 62
Tabla 20. Resultados de simulación Apartamento 3B 64
Tabla 21.Resultados de simulación Apartamento 5B..... 65
Tabla 22. Resultados generales de VIS. 66
Tabla 23. Clasificación del clima en Colombia según Koppen 77

Índice de gráficos.

Grafico 1. Elevación de la temperatura en escenarios SRES según el IPCC en el AR4 17
Grafico 2. Elevación de la temperatura en escenarios RCP según el IPCC en el AR5 18
Grafico 3. Población en Melgar 24
Grafico 4. Temperatura media en Melgar en el año base 25
Grafico 5. Temperatura media en Melgar en el año 2030 26
Grafico 6. Temperatura media en Melgar en el año 2050 26
Grafico 7. Temperatura media en Melgar en el año 2080 27
Grafico 8. Comparativo de Temperaturas por años 27

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Grafico 9. Distribución de la energía eléctrica por sector según UPME 29
Grafico 10. Planta arquitectónica de caso de estudio 34
Grafico 11. Ventilación cruzada. 36
Grafico 12. Ventilación Simple. 36
Grafico 13. Ventilación inducida. 37
Grafico 14. Ventilación efecto chimenea. 37
Grafico 15. Enfriamiento por evaporación. 38
Grafico 16. Ventilación nocturna. 38
Grafico 17. Alero o voladizo. 39
Grafico 18. Corredor. 40
Grafico 19. Persiana horizontal. 40
Grafico 20. Pantalla. 41
Grafico 21. Toldo. 41
Grafico 22. Pérgola. 42
Grafico 23. Muro doble. 42
Grafico 24. Envolvente. 43
Grafico 25. Estrategia de materialidad muro 48
Grafico 26. Estrategia de materialidad techumbre. 48
Grafico 27. Esquema de apartamentos objeto de análisis inicial 54
Grafico 28. Fase 1 de mejoramiento 58
Grafico 29. Fase 2 de mejoramiento 60

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Capítulo 1. Introducción

La construcción de Vivienda de Interés Social (VIS) en Colombia, proporciona un espacio propio para las familias que así lo requieren, con condiciones mínimas de habitabilidad, su principal objetivo es cubrir el déficit de vivienda aprovechando la inversión, para garantizar el mayor número de unidades de vivienda construidas.

Estas viviendas no cuenta con políticas públicas que garanticen condiciones óptimas de habitabilidad, los subsidios se otorgan con cumplimiento básico de ubicación de lote, acceso a servicios públicos y aprobación mediante licencia de construcción, todo esto se contempla sin exceder el presupuesto pactado mediante la ley 812 de 2003 a nivel nacional, que determina el costo total de vivienda por un valor no mayor a 135 salarios mínimos mensuales vigentes (35.100 USD); dentro de sus objetivos, no se contempla el confort del ambiente interior, y se ignora la situación problemática que puede resultar para las viviendas ubicadas en un clima cálido húmedo.

El bajo presupuesto para la construcción hace que los materiales empleados no tengan las características óptimas para aislar las altas temperaturas, así mismo la poca atención frente al diseño de acuerdo a las condiciones climáticas hace que se generen en la vivienda temperaturas superiores a las del exterior, como se evidencia en estudios realizados sobre las condiciones al interior de la VIS en la ciudad de Barranquilla que tiene condiciones climáticas similares (Serje, 2018, p.106); esto hace que los usuarios de la VIS en Clima cálido húmedo, tengan que pensar en soluciones temporales de enfriamiento que elevan el consumo de energía eléctrica, además de la generación de islas de calor debido a densificación de este tipo de urbanizaciones (Romero, Salgado, & Smith, 2010), lo que evidencia el incremento de dicha problemática considerablemente.

En relación a la situación climática futura es importante mencionar que las condiciones para climas cálidos evidencian resultados negativos pues la tendencia es la elevación de la temperatura entre otros factores como se menciona en el informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático realizado por un grupo expertos (IPCC), lo cual generara mayor sobre calentamiento al interior de la vivienda y por ende mayor demanda de refrigeración, por tal motivo un clima cálido húmedo es un escenario desfavorable y requiere que la VIS construida en este clima contemple estrategias de mitigación y de adaptación a las nuevas condiciones.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

La adaptación a las nuevas condiciones térmicas de la VIS no es contemplada dentro de ningún plan nacional, sus esfuerzos están concentrados en los efectos sobre los ecosistemas, el abastecimiento del agua, la agricultura, las zonas costeras y en la salud, siendo este un tema que afectara la salud de sus habitantes, solamente se contempla la concientización de la población, pero no establece ningún plan que les permita afrontar los efectos de cambio climático en sus viviendas, generando una alta preocupación sobre los efectos de las altas temperaturas en la salud evidenciados en las diferentes olas de calor presentadas a nivel mundial (Chen, Wang, Guo, Wang, & Lu, 2019; Lin, Maharani, Chang, & Wang, 2019; Nitschke et al., 2011).

En consecuencia, a la baja calidad térmica de los espacios interiores de la VIS y al panorama surge una importante preocupación por mejorar la calidad de la vivienda frente a las altas temperaturas de tal manera que sus habitantes puedan realmente establecer mecanismos propios mediante la autoconstrucción, pues serian ellos quienes realizarían el mejoramiento de sus viviendas con sus recursos y habilidades.

Es así como esta investigación establecerá unos parámetros cronológicos y progresivos de estrategias pasivas que se implementaran gradualmente al aumento de temperatura para mejorar las condiciones de confort, de igual manera se determinara el momento en el cual se deba pensar en instalar un sistema de refrigeración activa para dar confort a sus habitantes.

1.1 Planteamiento del problema

Según la tercera comunicación de cambio climático para Colombia (Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, 2015, p.04) “la ciencia prevé que el mundo puede llegar a tener dos grados más la temperatura media para 2100; siendo este un escenario conservador en el cual todos estemos actuando en la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) ”, y aunque esta cifra no parezca tan alarmante pues estamos acostumbrados a la variación térmica diaria que puede contemplar inclusive una diferencia de más dos grados es importante mencionar que cuando se habla del aumento de la temperatura media implica un cambio severo en todo el ecosistema de la tierra, que está acostumbrado a tener unas condiciones típicas.

Así mismo las condiciones térmicas actuales de la VIS interfieren con el desarrollo natural de las actividades cotidianas de más de la mitad de la población en Colombia, teniendo en cuenta que el 80% de la población en este país se encuentra en los estratos socioeconómico 1 ,2 y 3, siendo

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

estos los que cumplen las condiciones para acceder a la VIS mediante subsidios; el 20% restante se encuentra en los estratos 4, 5 y 6, significando que cualquier acción a emprender que pueda mejorar la VIS y por ende la calidad de vida de quienes la habitan, significará un impacto de gran relevancia en el contexto colombiano.

Es importante mencionar dentro de este panorama, que las familias de bajos recursos (estratos 1,2 y 3) en conjunto representan el mayor consumo eléctrico en vivienda por ser el 80% de la población en Colombia, respecto a otros sectores más favorecidos, sin embargo, la mirada de preocupación se enfoca en la dimensión social teniendo en cuenta que países en Latinoamérica presentan bajas emisiones (García 2014), por lo cual su demanda energética no supone tanto interés; sin embargo es de gran importancia mejorar las condiciones térmicas interiores que se verán reflejadas en la disminución de la demanda energética asociada a la refrigeración.

De igual manera la VIS en climas como el de Melgar considerado como Cálido – húmedo presenta mayores desafíos que aquellas que se encuentran en climas fríos, teniendo en cuenta que las temperaturas se elevaran, y sus condiciones se intensificaran considerablemente.

Por otra parte, los habitantes de la VIS adquieren su vivienda con gran esfuerzo y con el pensamiento de mantenerla y heredarla a sus familiares lo que da cuenta de la importancia de establecer mejoramientos que permitan seguir con el uso de las viviendas adaptándose mientras la construcción siga dentro de su vida útil que en este caso por el tipo de materialidad se estima sobre los 100 años, dentro de los cuales las condiciones climáticas tendrán grandes variaciones.

Las posibilidades de adaptación mediante mejoras a la vivienda son reducidas por las condiciones económicas de sus usuarios quienes no pueden invertir en materiales costosos de adecuaciones o en equipo activos de refrigeración, ni mucho menos asumir los gastos energéticos que estos equipos representan, lo que hace que dicha población se encuentre en total desventaja frente a los efectos del cambio climático.

Bajo estos antecedentes se hace evidente la necesidad de atender a este sector priorizando acciones que contribuyan a mejorar las condiciones de confort térmico de la VIS y así reducir el consumo energético, que también tendrá un aporte sobre la mitigación de los efectos de cambio climático con la autoconstrucción de estrategias pasivas de refrigeración.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

1.2 Hipótesis

Mediante la introducción de estrategias pasivas de refrigeración de bajo costo implementadas progresivamente por los mismos usuarios se logra establecer una mejora del 50% en el confort térmico actual y futuro, y a su vez una reducción en el consumo energético asociado a la refrigeración en la vivienda de interés social en Melgar –Tolima (clima cálido húmedo).

1.3 Objetivos general

Definir estrategias de enfriamiento pasivo que sean de fácil implementación para sus usuarios, con adaptabilidad progresiva a la variación de temperatura y humedad pronosticada para futuros escenarios climáticos en Colombia, mejorando el confort térmico interior de la VIS, y logrando disminuir el consumo energético.

1.3.1 Objetivos específicos

Objetivo 1. Establecer el desempeño energético y térmico actual de la vivienda interés social de alta densidad en clima cálido húmedo, contemplando diseño, tipo de usuario, condiciones de uso de la vivienda y su materialidad.

Objetivo 2. Definir estrategias de diseño de enfriamiento pasivo de fácil implementación para sus usuarios en cuanto a construcción - precio y que sean eficientes en el clima cálido húmedo.

Objetivo 3. Estimar el efecto de las estrategias pasivas de enfriamiento aplicadas en la vivienda de interés social en el escenario de cambio climático determinado, en diferentes periodos de tiempo.

1.4 Metodología

El desarrollo de esta investigación es de tipo experimental y busca determinar la influencia de diferentes varíales sobre un resultado, en este caso las estrategias pasivas de refrigeración y un escenario de cambio climático, serán las variables que determinen la influencia sobre el confort térmico y la demanda energética en la vivienda social de alta densidad localizada en Melgar – Tolima (clima cálido húmedo). El desarrollo metodológico de la investigación se llevará a cabo en tres etapas:

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

1.4.1 Etapa descriptiva

A. Recopilación de información mediante búsqueda cualitativa del estado actual de la VIS en ciudades con clima cálido húmedo o similar en Colombia.

Actividades:

- Caracterización del caso de estudio

B. investigación de datos cuantitativos meteorológicos y socioeconómicos y cualitativos del contexto de cambio climático mundial y a nivel país (Colombia 2011-2100) para determinar bajo qué escenario establecido por la IPCC se simularán las estrategias pasivas de refrigeración en la VIS.

Actividades:

- Investigación del estado actual de los estudios de cambio Climático mundial y a nivel país (Colombia)
- Determinar bajo qué escenario climático del IPCC se generarán los archivos climáticos futuros.
- Establecer los datos necesarios para generar el archivo climático del escenario futuro
- Generar los archivos climáticos para los periodos de tiempo contemplados a evaluar

C. Investigación bibliográfica de estrategias de diseño pasivo de refrigeración para clima cálido húmedo mediante un método cualitativo de análisis de casos similares que permita concluir cuales son efectivas para dicho clima, que sean de bajo costo y que puedan ser implementadas por los mismos usuarios.

Actividades:

- Hacer una revisión bibliográfica de estudios que determinen el impacto de las estrategias de refrigeración pasiva para VIS en clima cálido húmedo o similar.
- Determinar cuáles estrategias se van a usar en la etapa experimental.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Las fuentes de información que se utilizarán para el desarrollo de esta etapa serán referencias bibliográficas pertinentes al tema, otras asociadas a la vivienda social en Colombia, al consumo de energía para equipos de ventilación y/o refrigeración y a los aspectos relacionados con el cambio climático, como lo son:

ENERTOLIMA / Empresa eléctrica de la Ciudad de Melgar, para determinar el consumo de energía en VIS.

IDEAM / Institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que ofrece datos meteorológicos, e información sobre cambio climático en Colombia.

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO DE COLOMBIA / Órgano gubernamental encargado de regular la vivienda en Colombia.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE / Órgano gubernamental encargado de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, y de definir las políticas y regulaciones para la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables en Colombia.

DANE / Departamento administrativo nacional de estadística, permite acceder a base de datos estadísticos a nivel nacional.

IPCC / The Intergovernmental Panel on climate Change, Organismo de las Naciones Unidas para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático.

CMNUCC / Naciones unidas sobre el cambio climático SCHM / Servicio colombiano de hidrología y meteorología

OMM / Organización meteorológica Mundial.

1.4.2 Etapa experimental

Ya establecido el caso tipo, las estrategias de diseño pasivo de enfriamiento y el escenario de Cambio Climático se procede a experimentar, con el fin de identificar el potencial de las estrategias y sus posibles combinaciones para alcanzar la reducción de la temperatura interior disminuyendo el consumo en equipos de ventilación o enfriamiento y generando una adaptación

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

de la vivienda Social a los cambios climáticos para brindar mayor confort; resultados numéricos de temperatura – método cuantitativo.

Actividades:

- Establecer el desempeño del caso base en el programa de simulación DesignBuilder, dibujando la tipología de vivienda seleccionada y estableciendo unos parámetros de borde (ocupación, materialidad, horarios, etc.)
- Implementar las estrategias seleccionadas en la tipología de vivienda para determinar mediante simulación el desempeño de cada estrategia.
- Simular las condiciones de la VIS sin mejora en el escenario fututos en los periodos de tiempo determinados.
- Simular progresivamente las estrategias para ir visualizando el aporte de estas con el paso del tiempo, con el clima del escenario según el IPCC.

1.4.3 Etapa comparativa y de resultados

Se analizarán los datos obtenidos en la etapa experimental, para determinar integralmente el potencial de reducción de consumo eléctrico y mejoramiento de confort térmico en tres periodos de tiempo del escenario futuro de cambio climático.

Actividades:

- Recopilar los datos obtenidos en la etapa experimental y realizar cuadros comparativos de los resultados.
- Analizar y concluir detalladamente sobre los resultados.
- Realizar recomendaciones que permitan adaptar la VIS a los desafíos del cambio climático.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Capítulo 2. Cambio Climático y la Vivienda de interés Social en Colombia.

El presente apartado, busca instruir sobre las condiciones de cambio climático a nivel mundial y del país de estudio para determinar las circunstancias a las que se enfrentaría la vivienda en distintos periodos de tiempo futuros, así mismo define las características de la vivienda de interés social en Colombia, para determinar el comportamiento térmico actual.

2.1 Cambio climático

En el artículo primero del Marco de las Naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) se define este como ¨un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables¨

Se habla de tiempos comparables teniendo en cuenta que se puede determinar si un evento meteorológico hace parte del cambio climático cuando es repetido, perdura en el tiempo y generalmente va en aumento , muchas veces relacionamos eventos puntuales como huracanes, tormentas de nieve o inclusive fenómenos como el niño o la niña que se presentan en periodos específicos y desaparecen , los cuales no pueden ser adjudicados al cambio climático como si lo es el aumento de la temperatura y las precipitaciones sobre las cuales se tiene un registro histórico y se puede comprobar que ha variado progresivamente, se repite y permanece a lo largo del tiempo.

El comportamiento histórico de la temperatura y precipitaciones, es el que nos permite aproximarnos a pronosticar los posibles escenarios futuros, así mismo a determinar qué factores aceleran los efectos del cambio climático.

Uno de los principales desencadenantes del cambio climático son los gases de efecto invernadero (GEI) los cuales hacen parte de la atmosfera y son emitidos por la actividad humana, entre estos encontramos el vapor de agua que forma parte de la evaporación natural, el dióxido de carbono (CO_2) el cual es generado por los combustibles fósiles en diferentes procesos de la industria y el transporte, el metano (CH_4) producido principalmente por la fermentación de bacterias presentes en algunos cultivos y por el ganado, el óxido nitroso (N_2O) que se produce principalmente por el uso de fertilizantes nitrogenados en grandes cultivos entre otros, los clorofluorocarbonos (CFC) de

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

carácter químico presente en aerosoles y procesos de producción de aluminio y otros materiales , y por último el ozono troposférico (O_3) que se origina en la combustión de fuentes de energía contaminantes.

Dichos gases hacen que los rayos provenientes de sol que en condiciones normales ingresan a la atmosfera y se irradian nuevamente fuera del planeta se queden dentro de la atmosfera pues las ondas de radiación infrarroja son retenidas permitiendo que la temperatura del planeta aumente, este fenómeno es conocido como efecto invernadero, que en condiciones normales es fundamental para mantener una temperatura ideal para habitar el planeta, pero que en las condiciones actuales de contaminación de la atmosfera generan un sobre calentamiento que afecta todos los ecosistemas naturales.

En 1988 las Naciones Unidas junto con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Intergovernmental *Panel on Climate Change* (IPCC) Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático para ser el encargado de informar al mundo sobre los efectos y riesgos que presenta el cambio climático sobre la naturaleza, la economía y la política mundial, desde un ámbito científico y objetivo.

Dentro de los informes del IPCC (2007) se dieron a conocer los escenarios de emisiones de CO_2 los cuales denomino escenarios SRES, para establecer condiciones climáticas del futuro, dichos escenarios fueron pensados en 4 grupos determinados por las emisiones de GEI, demografía, economía, uso de energía y el aporte hacia la mitigación de los factores de riesgo.

Los grupos se denominaron así A, B, 1 y 2, los cuales tienen las siguientes características:

A. Economía. En este caso económicamente no existe una preocupación por mantener una sostenibilidad en el medio ambiente, es decir deja a un lado todo apoyo al medio ambiente y a la restricción de emisiones contaminantes del aire y del agua.

B. Economía. Presenta una economía preocupada por tener una sostenibilidad del medio ambiente.

1. Población. Se considera que la población mundial disminuye en 2050.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

2. Población. Se considera que la población del mundo continúa creciendo (en combinación con el A y B en el B se considera que la población aumenta más rápido que en el A).

Adicional a esto se tienen en cuenta también 3 tipos de combustibles T, B y FI que generan variación en la predicción.

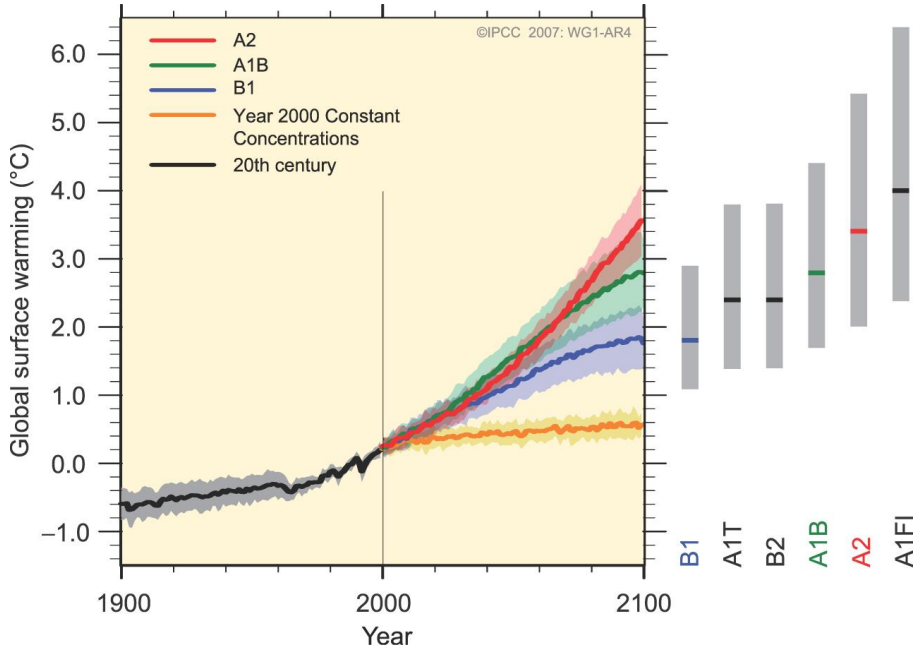
T. Combustible. Renovable

B. Combustible. Basado en mezclas

FI. Combustible. Fósil

Como se puede ver en el Gráfico 1 según los grupos y las condiciones establecidas encontramos los escenarios B1, A1T, B2, A1B, A2 Y AAFI donde se puede observar que el más desfavorable es el A1FI el cual contempla un calentamiento global de la superficie en 4°C.

Grafico 1. Elevación de la temperatura en escenarios SRES según el IPCC en el AR4



Posterior a los escenarios SRES el IPCC en el Quinto informe con el documento AR5 en el año 2014 establece 4 escenarios RCP que a diferencia de los anteriores tiene en cuenta factores como el Forzamiento Radiativo (FR) que varía entre 2,6 y 8,5 W/m^2 y contempla también políticas y acuerdos internacionales respecto a las emisiones.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Los escenarios RCP presentan las siguientes características:

RCP 2.6. Es el escenario más optimista, contempla un forzamiento radiativo de 2.6 W/m^2, decreciente en el periodo establecido hasta el 2100, y una concentración de CO_2 de 421 ppm.

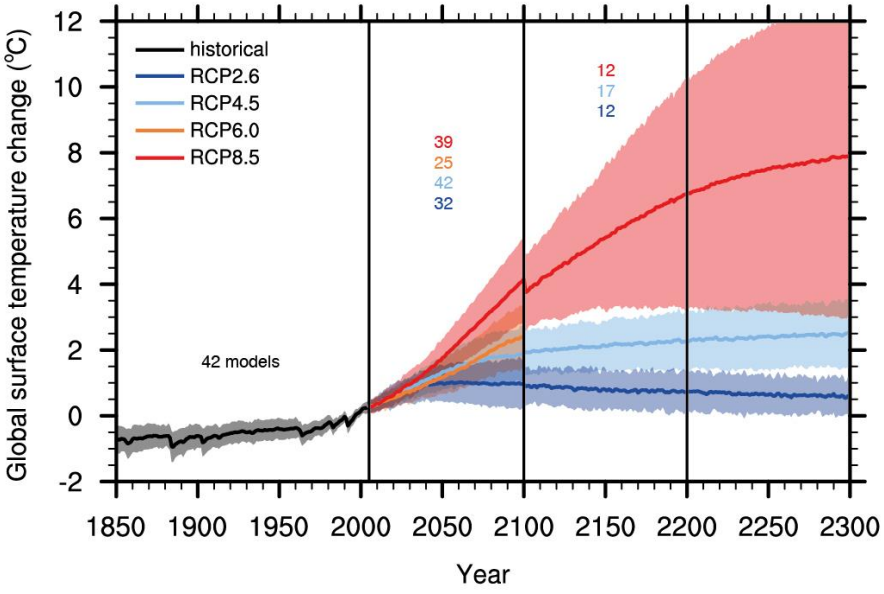
RCP 4.5 Este escenario es estable, contempla un forzamiento radiativo de 4.5 W/m^2 que se mantiene constante y contempla una concentración de CO_2 de 538 ppm.

RCP 6.0 Este es uno de los escenarios desfavorables, que contempla un forzamiento radiativo de 6.0 W/m^2 en crecimiento y una concentración de CO_2 de 670 ppm.

RCP 8.5 Este es el escenario más pesimista, por contemplar un forzamiento radiativo de 8.5 W/m^2 en crecimiento y una concentración de CO_2 de 936 ppm.

Los resultados de las condiciones futuras se pueden observar en el Grafico 2.

Grafico 2. Elevación de la temperatura en escenarios RCP según el IPCC en el AR5



Por medio de este tipo de escenarios es posible anticiparnos a las variaciones que tendrá la temperatura y las precipitaciones en el planeta, así mismo permiten establecer planes de mitigación para controlar los factores que aceleran el cambio climático y encontrar mecanismos anticipados para la adaptación a las nuevas condiciones.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Teniendo en cuentas los aspectos de cada uno de los escenarios anteriormente descritos, se estableció que el más adecuado para aplicar al caso presente de estudio es el SRES A2, uno de los escenarios más desfavorables en esta clasificación, en el cual no se contempla ningún aporte hacia la mejoría del medio ambiente, con un desarrollo económico regional ,un crecimiento continuo de población y con cambios tecnológicos lentos ; dicho escenario se asemeja por los resultados térmicos al RCP 4,5 el cual es un escenario intermedio en esta categoría y que contempla aproximadamente un aumento de 3.5 °C.

Una vez escogido el escenario A2, se utilizó el programa METEONORM en donde se ingresó el archivo climático. epw del año base y con el escenario A2, se generaron los archivos climáticos para los años 2030, 2050 y 2080 escogidos por ser cronológicamente establecidos como un año a corto, mediano y de largo plazo.

2.1.1 Cambio climático en Colombia

En Colombia se aprobó la (CMNUCC) mediante la ley 164 de 1994 la cual buscaba establecer alternativas para ejercer acciones que permitieran abordar la problemática del cambio climático; en el año 2000 se aprueba el protocolo de Kioto mediante ley 629 de 2000, y es ahí donde se empiezan a elaborar las políticas de cambio climático desde el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Sostenible y el departamento Nacional de Planeación, siendo el punto de partida de las estrategias para la mitigación del cambio climático, adicional a esto se crea la oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático.

En el 2001 en colaboración con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se presentó la primera comunicación nacional de Cambio Climático para la CMNUCC, en la cual se hacía un inventario Nacional de los GEI para los años 1990 y 1994; en el 2010 en la segunda Comunicación Nacional de Colombia ante la CMNUCC se expuso el nuevo inventario de fuentes y sumideros de GEI para los años 2000 y 2004 utilizando la metodología aprobada por la CMNUCC; Así mismo en estos dos comunicados se evidencia la vulnerabilidad de Colombia en los efectos de variación climática, lo cual permite dar cuenta de la importancia de coordinar estrategias de adaptación a los impactos que tendrá el Cambio Climático sobre el medio ambiente, la población y la economía del país.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

En el 2015 se establece la Tercera comunicación de Cambio Climático para Colombia donde participan varias instituciones y establecen un documento denominado Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 en el cual se presenta un análisis especifico de cada Departamento de Colombia para determinar la variación de la temperatura y las precipitaciones en los periodos de 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100; los resultados de los escenarios obtenidos se basaron en 16 modelos climáticos del IPCC y reflejan los siguientes resultados de la tabla 1 .

Tabla 1. Escenarios de cambio Climático para Colombia 2011-2100

Departamentos de Colombia	Cambio de temperatura media °C			% de cambio de precipitación		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Amazonas	0,7	1,5	2,4	-14,84	-12,47	-14,03
Antioquia	0,8	1,4	2,2	4,88	6,91	9,3
Arauca	0,9	1,8	2,6	1,09	2,23	2,68
Atlántico	1,1	1,6	2,2	-7,39	-9,52	-11,26
Bogotá DC	0,8	1,4	2,2	6,57	9,53	8,27
Bolívar	0,9	1,6	2,2	-15,09	-15,22	-17,13
Boyacá	0,8	1,6	2,4	5,84	3,69	3,19
Caldas	**0,9**	**1,6**	**2,4**	**20,16**	**22,61**	**28,12**
Caquetá	0,8	1,5	2,2	-18,99	-19,32	-17,15
Casanare	0,9	1,7	2,4	-2,77	-2,14	-4,06
Cauca	0,7	1,4	2,1	16,18	17,15	18,4
Cesar	1,1	1,9	2,5	-15,32	-16,2	-19,82
Chocó	0,8	1,5	2,3	-5,20	-4,04	-2,59
Córdoba	0,9	1,6	2,2	1,56	1,88	-1,42
Cundinamarca	0,8	1,5	2,3	7,99	9	8,21
Guainía	0,9	1,7	2,7	-5,49	-9,66	-9,27
Guaviare	0,9	1,7	2,5	-6,65	9,36	-5,11
Huila	0,8	1,4	2,1	16,52	17,74	17,24
La Guajira	0,9	1,6	2,3	-14,50	-16,57	-20,02
Magdalena	1,0	1,7	2,4	-18,65	-20,83	-23,24
Meta	0,9	1,7	2,4	-7,46	-5,68	-3,89
Narino	0,7	1,4	2,1	13,69	13,42	12,03
Norte de Santander	0,9	1,7	2,6	1,00	0,21	-0,35
Putumayo	0,8	1,5	2,2	4,45	6,73	6,74
Quindío	0,8	1,5	2,3	6,34	12,2	24,28
Risaralda	0,8	1,5	2,4	18,26	20,32	28,36
San Andrés y Providencia y Sta C	0,8	1,4	2,0	-30,20	-32,78	-33,01
Santander	0,9	1,7	2,5	0,54	1,29	-1,15
Sucre	0,9	1,6	2,1	-11,30	-13,38	-16,2
Tolima	**0,9**	**1,6**	**2,3**	**10,54**	**13,11**	**17,24**
Valle del Cauca	0,9	1,6	2,4	6,59	6,08	6,14
Vaupés	1,0	1,9	2,6	-20,49	-22,69	-23,31
Vichada	0,9	1,8	2,6	-0,64	-1,88	-2,35

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Temperatura media en °C				
Bajo	Bajo Medio	Medio	Medio Alto	Alto
0 - 0,5	0,51 - 1	1,1 - 1,5	1,5 - 2	2,1 - 3,9

Precipitacion Promedio en %				
Déficit severo	Déficit	Normal	Exceso	Exceso severo
< -40%	´-39% Y -11%´	´-10% Y 10%´	11% Y 39%	> 40%

Dentro de los departamentos que presentan exceso de lluvias y aumento de la temperatura medio alto y alto para el periodo 2041-2070 y 2071-2100 se encuentran Caldas y Tolima, departamento donde se encuentra Melgar; estos presentan climas similares y asi mismo desafios de adaptacion por las condiciones futuras de temperatura y humedad.

Las politicas Colombianas frente al Cambio Climatico estan enfocadas principalmente en el desarrollo urbaño y rural, para mitigar los efectos del Cambio Climatico en la generacion de derrumbes e inundaciones , la conservacion de los ecosistemas tanto terrestres como marinos, y en el fomento de energias renovables y biocombustibles.

En ninguno de los casos se plantea el confort al interior de la vivienda por tal motivo es de gran importancia poder establecer la insidencia que tiene la elevacion de la temperatura al interior de la vivienda a medida que pasa el tiempo y el cambio de las condiciones exteriores , de esta manera se generaria una conciencia frente a las medidas de adaptacion que debe de tener la VIS.

La vivienda juega un papel muy importante frente al Cambio Climático desde dos puntos de vista, la mitigación para no ser causante de este y la adaptación preparándose para los impactos generados; es ahí donde se busca establecer una eficiencia energética de la vivienda y garantizar el confort térmico al interior.

Existen 3 enfoques de tipo conceptual analizados para la adaptabilidad de la vivienda (Roders y Straub 2015) que son: el desarrollo de políticas , la involucración de actores externos y la elaboración de proyectos de asociación , de los cuales se estableció que son poco factibles ya que el desarrollo de políticas no garantiza que existan los recursos para llevarse a cabo , los actores externos no se sienten comprometidos a implementar medidas de adaptación y por ultimo una

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

asociación de vivienda frente una constructora no tendrá mucha opción de opinar sobre un diseño ya establecido .

Esto nos determina un punto de partida y nos abre el panorama frente a las posibilidades de implementación de medidas de adaptación, que involucrara como actor principal al usuario que será aquel que se afectara y deberá encontrar la manera de adecuarse a las nuevas condiciones.

La mayoría de los usuarios de la vivienda no tienen el conocimiento necesario sobre el Cambio Climático para establecer las causas , consecuencias y soluciones que pueden implementarse; Un estudio (Hayles y Dean 2015) revelo que los usuarios de VIS en Irlanda a pesar de estar conscientes de que su comportamiento altera el Cambio Climático no realizan operaciones sencillas como el uso de bombillas ahorradoras, y por el contrario se ven influenciados por el pago del consumo eléctrico y no por el cuidado ambiental.

Esto refleja la importancia que tienen los usuarios frente a estos dos puntos de vista, por una parte, son los responsables de mantener una eficiencia energética de su vivienda y así mismo serán los únicos afectados respecto a las nuevas condiciones climáticas venideras que deteriorarán la calidad de vida.

Las condiciones térmicas de todas las viviendas se verán afectadas, en algunos casos más que en otros, esto dependerá de las consideraciones constructivas, de su diseño y materialidad, así mismo del clima en el que se encuentren; las viviendas en climas fríos presentaran una reducción considerable en la demanda de calefacción, (Xu et al. 2012; FAZELI, DAVIDSDOTTIR y HALLGRIMSSON 2016) y aumento en la de refrigeración, mientras que las de clima cálido aumentara aún más la demanda de refrigeración.

Esto nos permite aproximarnos a entender que aquellas medidas que actualmente se preocupen por la mejora en la eficiencia energética en calefacción, tendrán un efecto opuesto sobre el sobrecalentamiento futuro (Dino y Meral Akgül 2019), y aquellas que tengan altas demandas de refrigeración deberán enfocarse en disminuirlas mediante estrategias pasivas y escoger equipos de alta eficiencia energética cuando estas no sean suficientes (Ren, Chen y Wang 2011).

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

2.2 Lugar de análisis

El desarrollo de esta investigación se realiza en el Municipio de Melgar-Tolima (Colombia), por cuanto este presenta las condiciones climáticas de temperatura y húmedas de interés para el análisis.

El Municipio cuenta con un área o superficie total de 215.7 km², su área urbana se encuentra a una altitud promedio de 323 metros sobre el nivel del mar (a orillas del rio Sumapaz), sin embargo, su área rural (en la falda de la cordillera oriental), puede llegar hasta los 1.560 msnm.

Geográficamente, se localiza entre la vertiente occidental de la cordillera oriental de los andes colombianos y el valle alto interandino del río Magdalena, entre el rio Sumapaz y los cerros, en límites con Icononzo y Cunday.

Esta localización geográfica, incluye obstáculos naturales en su entorno que limitan la expansión de su área urbana, como se puede ver en la figura 1.

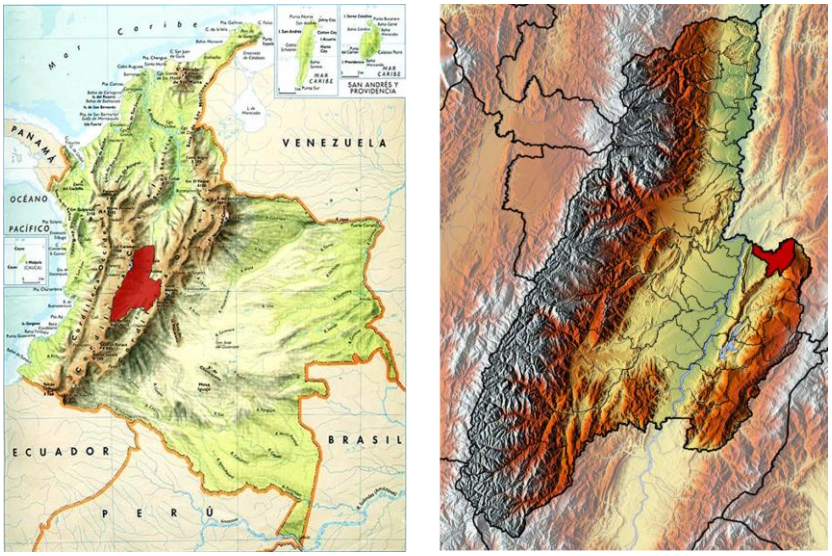


Figura 1. Imagen geográfica del departamento del Tolima y Melgar

Teniendo en cuenta la división político administrativa en Colombia, el Municipio se encuentra ubicado al oriente del Departamento del Tolima, limitando por el norte con el Municipio de Nilo (Departamento de Cundinamarca); al oriente con el municipio de Icononzo (Tolima); al occidente con el municipio de Carmen de Apicalá (Tolima) y al sur con el municipio de Cunday (Tolima).

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

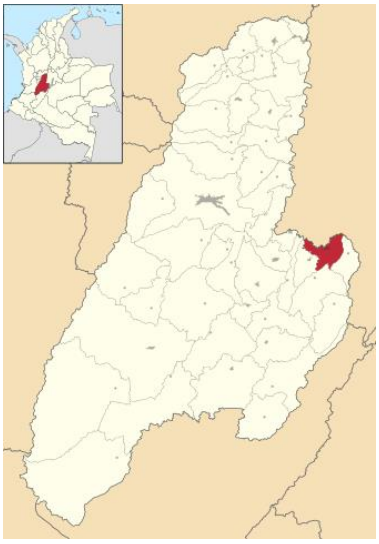
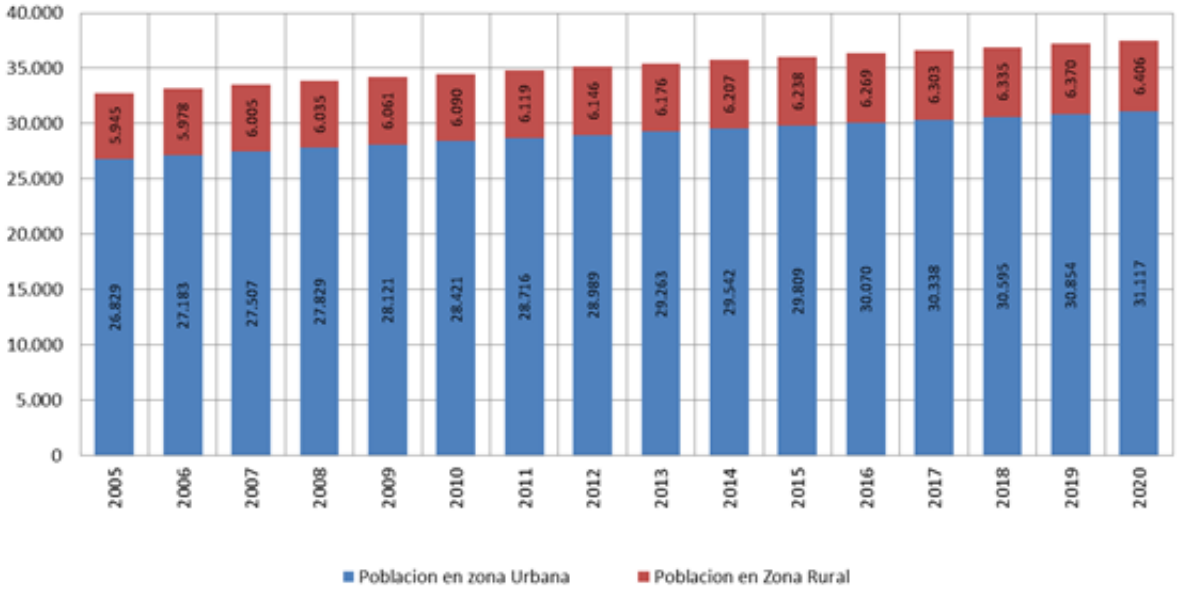


Figura 2. Localización de Melgar en el departamento del Tolima

2.2.1 Población

De acuerdo a las proyecciones del DANE (Departamento Nacional de Estadística), el Municipio de Melgar, cuenta para el año 2019, con una población aproximada de 37.224 habitantes en toda el área municipal, de la cual 30.854 habitantes (83%) se encuentran en el área urbana y 6.370 habitantes (17%) en el área rural, como se puede ver en el gráfico 3.

Grafico 3. Población en Melgar



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Es importante tener en cuenta que el último censo oficial de población en Colombia, se realizó en el año 2005, y que no hay datos actualizados que permitan determinar con exactitud la precisión de estas proyecciones.

2.2.2 Clima

Según la clasificación climática de KOPPEN, Melgar se encuentra catalogado como **TIPO A** - Tropical o mega termal, corresponden a las zonas en las cuales todos los meses tienen temperaturas superiores a los 18 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación.

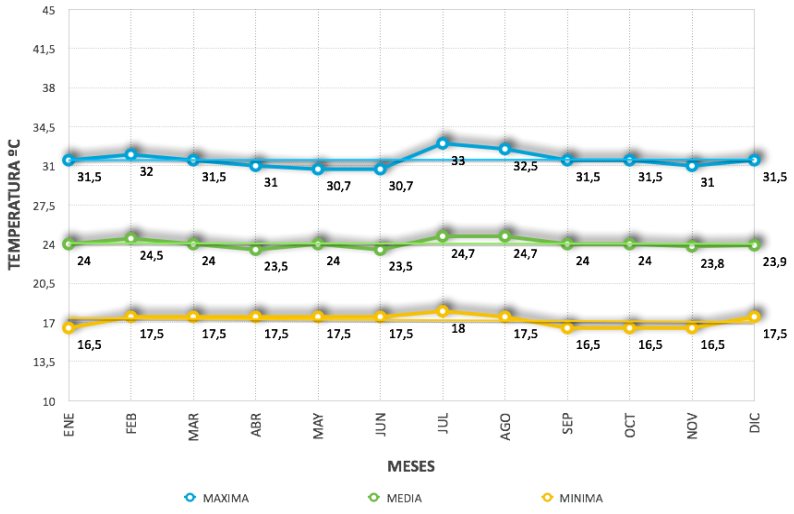
Dentro de la sub categoría se encuentra como (As) Estación seca en verano: con algún mes por debajo de los 60 mm y la precipitación del mes más seco es inferior a la expresión (100 – (Panual/25))

Clima año base

El año base – tipo o también denominado Typical Meteorological Year (TMY) cuenta con una temperatura media de 24 °C como se puede ver en el gráfico 4, una temperatura mínima de 17 °C y una máxima de 33 °C.

En un 55% presenta condiciones de cielo despejado y una humedad entre 60 y 90%, así mismo se identifican vientos provenientes del oriente con una velocidad promedio de 2 m/s.

Grafico 4. Temperatura media en Melgar en el año base

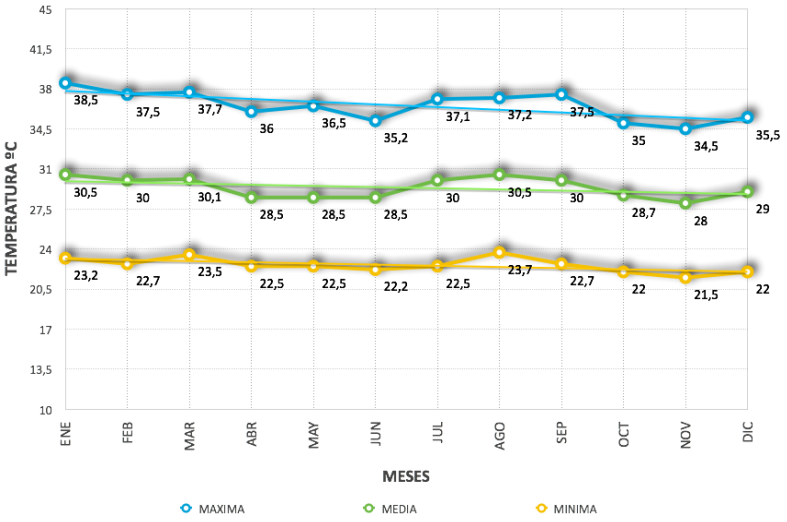


Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Clima año 2030

En el 2030 la temperatura media será de 29 °C como se puede ver en el gráfico 5, una temperatura mínima de 22 °C y una máxima de 37.5 °C.

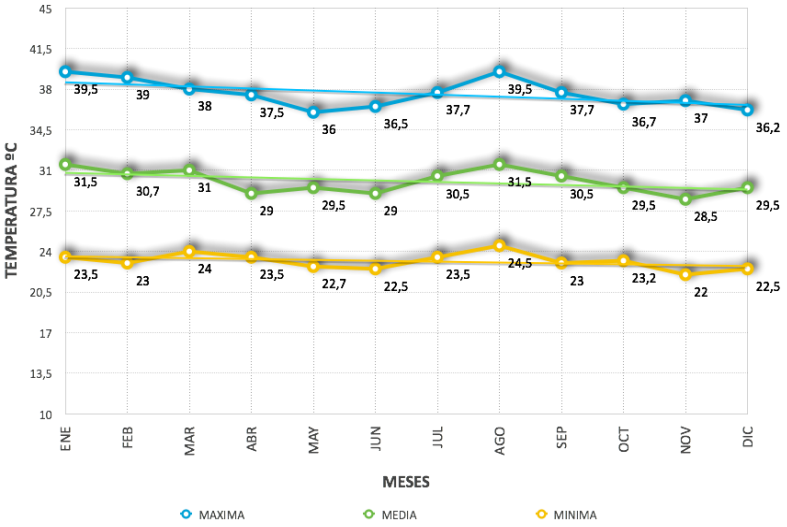
Grafico 5. Temperatura media en Melgar en el año 2030



Clima año 2050

En el 2050 la temperatura media será de 29 °C como se puede ver en el gráfico 6, una temperatura mínima de 23 °C y una máxima de 38 °C.

Grafico 6. Temperatura media en Melgar en el año 2050

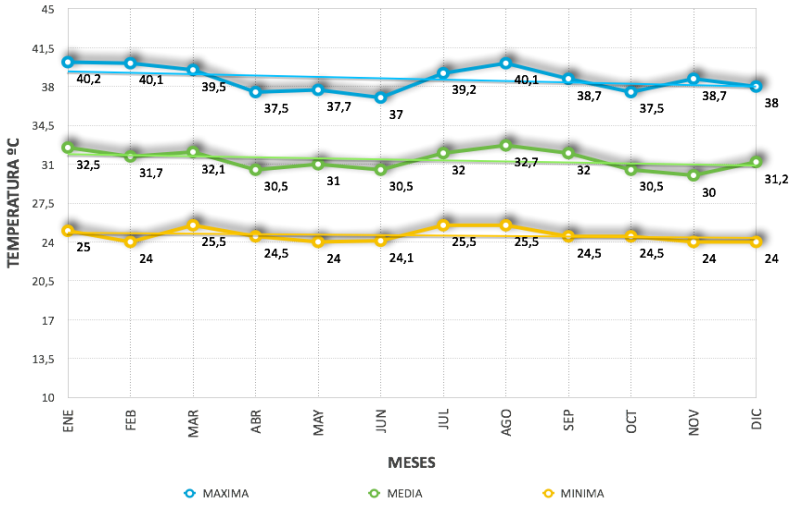


Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Clima año 2080

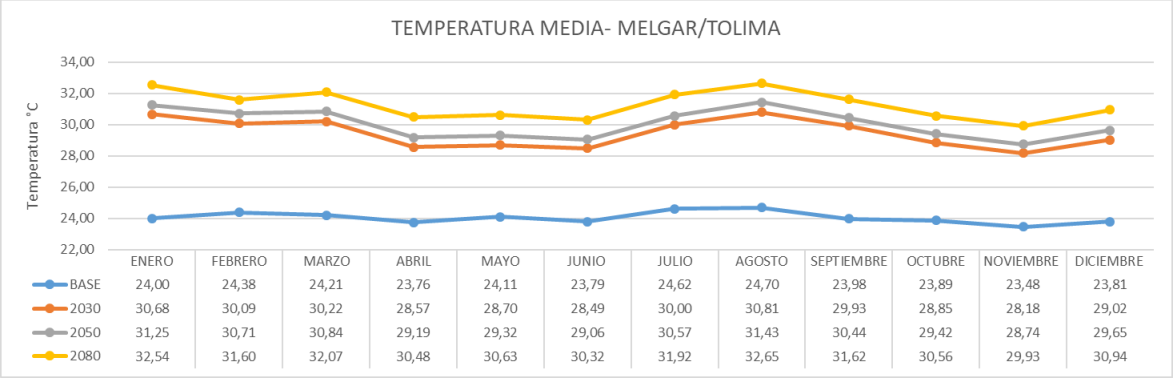
En el 2080 la temperatura media será de 31,5 °C como se puede ver en el gráfico 7, una temperatura mínima de 24 °C y una máxima de 39 °C.

Grafico 7. Temperatura media en Melgar en el año 2080



Se puede observar que entre el año base y el 2030 hay una fuerte elevacion de distinta proporcion en cada mes, mientras que entre el año 2030 y 2080 su temperatura mantiene la misma elevacion de la temperatura en cada mes (Grafico 8), esto se debe a que los climas de escenarios futuros se basan en condiciones estandar , asi mismo el año base o Typical Meteorological Year (TMY) no se debe tomar como año 2019 sino como un pronostico establecido entre (1961-1990)

Grafico 8. Comparativo de Temperaturas por años



	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
BASE	24,00	24,38	24,21	23,76	24,11	23,79	24,62	24,70	23,98	23,89	23,48	23,81
2030	30,68	30,09	30,22	28,57	28,70	28,49	30,00	30,81	29,93	28,85	28,18	29,02
2050	31,25	30,71	30,84	29,19	29,32	29,06	30,57	31,43	30,44	29,42	28,74	29,65
2080	32,54	31,60	32,07	30,48	30,63	30,32	31,92	32,65	31,62	30,56	29,93	30,94

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

2.3 Vivienda de interés social en Colombia.

En las últimas décadas la escasez de suelo y el elevado costo de este han establecido a la VIS en altura como una solución al déficit de vivienda en Colombia, teniendo en cuenta que el aprovechamiento del suelo con un número mayor de viviendas permite reducir el costo por la explotación máxima de este y por un menor costo de construcción de infraestructura urbana, fomentando así este tipo de desarrollos tanto en ciudades grandes como pequeñas.

De igual manera, es importante destacar que el municipio se ubica en el décimo lugar de ciudades receptoras de población desplazada víctima del conflicto armado, en el departamento, acogiendo cerca de 1029 personas y 239 familias entre los años 1985 y 2012.

Teniendo en cuenta estos antecedentes los estudios realizados por la gobernación del Tolima para el desarrollo de la política pública de vivienda digna del departamento en el año 2013, en términos de déficit de vivienda, el municipio de Melgar demanda la construcción de 1.308 unidades, de las cuales 874 deben ser ofertadas en el casco urbano de la ciudad y las restantes 434 en el sector rural; Esta demanda de soluciones de viviendas de interés social en el área urbana del Municipio, establece un déficit cuantitativo del 66,81 %.

Lo cual determina que la fuerte demanda de VIS mantendrá los parámetros mediante los cuales se construye y se seguirá manteniendo el desarrollo del parque habitacional de VIS en altura, para lograr reducir rápidamente el déficit; los proyectos de VIS en Colombia tienen entre 4 y 30 pisos, pero la gran mayoría oscila sobre los 5-6 pisos, esto debido a políticas establecidas en algunas ciudades, que presentan restricciones por calidad del suelo o proximidades a aeropuertos, sin embargo, en las ciudades más grandes el suelo es más costoso por lo cual se permite alcanzar mayor altura.

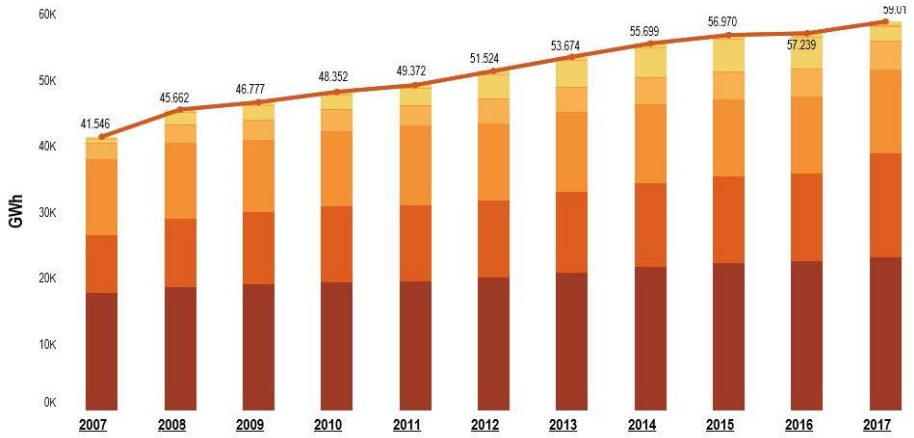
2.3.1 Eficiencia energética en la vivienda colombiana

En la actualidad Colombia está en los primeros puestos en cuanto a la producción energética, el suministro de energía se apoya en el uso de hidroeléctricas en un 60%, seguido por la generación térmica en un 30%, y el 10% restante en energías renovables como la eólica, biomasa y solar, las cuales tienen incentivos que buscan promover su uso.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

La energía eléctrica en Colombia Según datos de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) tiene un mayor consumo en el sector residencial, seguido por el comercio, la industria, la minería y el transporte, y han ido incrementando progresivamente en los últimos años como se puede ver en el grafico 9, para el 2017 el sector residencial tenía un consumo de 22.377 KWh es decir el 39% del consumo final de energía que es de 56.970 KWh.

Grafico 9. Distribución de la energía eléctrica por sector según UPME



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo Final Energía	41.546	45.662	46.777	48.352	49.372	51.524	53.674	55.699	56.970	57.239	59.01
CF Agropecuario Energía	395	421	462	457	457	508	550	548	589		
CF Construcciones Energía	31	59	66	54	44	58	66	72	93		
CF N/I Energía	484	1.722	2.079	2.078	2.515	3.584	3.882	4.473	4.882		
CF Otros Energía	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
CF Transporte Energía	60	66	68	70	72	75	82	85	91		
CF Minero Energía	2.429	2.795	2.974	3.244	3.087	3.743	3.840	3.984	4.153		
CF Industrial Energía	11.567	11.534	11.053	11.491	12.042	11.712	12.061	11.979	11.721		
CF Comercial & Público Energía	8.723	10.347	10.899	11.465	11.527	11.738	12.356	12.825	13.064		
CF Residencial Energía	17.857	18.719	19.177	19.494	19.627	20.106	20.837	21.732	22.377		

En Colombia los inmuebles residenciales tienen una estratificación socioeconómica la cual permite establecer para los servicios públicos, el cobro diferencial, es decir la asignación de subsidios y el cobro de sobrecostos o contribuciones; los estratos socioeconómicos van desde el 1 hasta el 6 , los estratos 1, 2 y 3 corresponden a los estratos bajos debido a que sus usuario tienen ingresos menores a los de los estratos 5 y 6 que corresponden a los estratos altos con usuarios de mayores recursos económicos , los cuales debe de pagar una contribución en los servicios públicos para subsidiar a los estratos 1 y 2, mientras que el estrato 4 no es beneficiario ni contribuyente a los subsidios.

Dichos estratos son designados a la vivienda según las condiciones de habitabilidad, se consideran los materiales de la vivienda, la ubicación, las condiciones de acceso, los ingresos económicos de sus habitantes y en general la calidad de vida de los usuarios, esta designación se establece por medio de censos realizados por autoridades catastrales que realizan visitas periódicas para ver el

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

desarrollo de los sectores de vivienda, esto con el fin de determinar los sectores que realmente necesitan los subsidios asignados .

La vivienda de interés social en Colombia está catalogada entre los estratos 1,2 y 3 por tal motivo sus habitantes cuentan con subsidios en el costo de los servicios públicos estos subsidios están aproximadamente por el orden de 10% para estrato 3, 40% para el estrato 2 y 50% para el estrato 1, así mismo la contribución que hace el estrato 5 y 6 es aproximadamente del 20%, estos porcentajes están regulados por la ley 142 y 143 de 1994 pero varían entre las distintas empresas proveedoras de los servicios públicos .

Como se mencionó anteriormente el sector residencial es el que tienen mayor consumo de energía eléctrica en el país , y al segregar este consumo dentro de los estratos socioeconómicos según el informe de Caracterización Energética Del Sector Residencial Urbano Y Rural En Colombia realizado por la Corporación para la Energía y el Medio Ambiente (CORPOEMA) con el apoyo de UPME en el 2012 los estratos 1,2 y 3 consumen el 76% del total de la energía eléctrica como se puede ver en la tabla 2, una cifra importante lo cual determina que los efectos más representativos se evidenciaran en la reducción del consumo en los 3 primeros estratos , así mismo el resultado del informe logro evidenciar que el consumo de energía eléctrica es mayor en poblaciones de clima cálido consideradas por debajo de los 1000 ms.n.m con un consumo de 141.8 KW/mes, mientras que en clima templado entre los 1000 y 2000 ms.n.m se registra un consumo de 105.5 KW/mes y en el clima frio sobre los 2000 ms.n.m se registra un consumo de 91.4 KWh/mes.

Tabla 2. Distribución de consumo eléctrico por estratos según CORPOEMA.

ESTRATO	CONSUMO FACTURADO
1	12%
2	34%
3	30%
4	12%
5	6%
6	6%

El consumo electrico en estratos 1,2 y 3 en el clima calido es superior al de clima templado y frio por un aumento principalmente en los valores relacionados con el uso de ventilador y de la nevera

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

que genera un mayor consumo en este clima, en este caso es la que presenta el mayor consumo electrico, seguido por la iluminacion y los ventiladores como se evidencia en la tabla 3.

Tabla 3.Consumo de subsistencia de energía eléctrica para poblaciones ubicadas a menos de 1000 ms.n.m (clima cálido)

Equipo	Capacidad			Numero	Unidad		Servicio	Unidad		Subtotal consumo (kWh/mes=)	Consumo (kWh/mes)
Iluminacion			E								17,8
LFC	20	W		6	Puntos iluminacion	E	4,8	hr/dia	E	2,9	
Incacandecentes	100	W		4	Puntos iluminacion	E	3,8	hr/dia	E	11,3	
Fluorecentes	40	W		2	Puntos iluminacion	E	3	hr/dia	E	3,6	
Ventilador	50	W	E	2	Ventiladores	E	5,4	hr/dia			16,2
TV Comercial	56,8	W	M				7	hr/dia	E		11,9
Nevera	60,8	kWh/mes	M								60,8
Plancha	1105	W	M				3,4	hr/dia	E		16,2
Licuadora	310	W	M				4,4	hr/dia	E		0,7
Lavadora	288	Wh/ciclo	M				3,22	hr/dia	E		4
Celular	1,8	W	M				2	hr/dia	E		0,1
Computador	94	W	M				4	hr/dia	M		11,3
DVD	12,4	W	M				0,4	hr/dia	M		0,1
Equipo de sonido	30	W	M				3	hr/dia	M		2,7
TOTAL											**141,8**

E: Informacion de encuenta
M: Resultado de mediciones

2.3.2 Parque habitacional de la VIS en altura

La mayoría de proyectos de interés social tienen oferta de apartamentos de 2 y 3 habitaciones con áreas entre 40 y 58 m² aproximadamente, teniendo mayor acogida los apartamentos de 3 habitaciones lo cuales permiten albergar un núcleo familiar mucho más amplio, como es característico de los usuarios de VIS (4 habitantes) que superan la media nacional de personas que habitan una misma vivienda (3.1 habitantes).

Mediante un análisis de la oferta de proyectos de VIS en Colombia se logró evidenciar que los diseños no responden a las características climáticas del lugar de implantación, ya que los mismos diseños de las constructoras se repiten en ciudades con climas totalmente diferentes , así mismo la ubicación del bloque habitacional sobre el lote en un mismo proyecto tiene orientaciones diferentes en respuesta a el aprovechamiento del suelo y no al beneficio de establecer condiciones favorables para protegerse de la radiación solar y aprovechar la circulación del aire al interior; aun cuando el Ministerio de Vivienda proporciona unas Guías de Calidad de la vivienda donde hace

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

recomendaciones para la vivienda según las condiciones climáticas reunidas en 4 grande grupos clima frio, clima templado, clima cálido seco y clima cálido húmedo, sin embargo, esta iniciativa es de carácter informativo, pero no tienen ninguna obligatoriedad lo cual hace que las constructoras den mayor importancia a otros factores.

Así mismo se encontraron dentro de los apartamentos ofertados dos tipologías de diseño, según la ubicación de las zonas a su interior; la tipología 1 concentra todas las habitaciones a un costado de la zona de sala comedor y cocina y la tipología 2 distribuye las habitaciones a los dos costados de la zona de sala comedor y cocina (ver Tabla 4) encontrando que la tipología 1 es la más común entre las constructoras del país.

Tabla 4. Oferta de proyectos VIS en Colombia

DESCRIPCION	PLANO	IMPLANTACION	VISTA DE FACHADA
PROYECTO ALAMOS DE POPORO CONSTRUCTORA: CAMU LOCALIZACION : JAMUNDI / VALLE DEL CAUCA AREA CONSTRUIDA: 60 m² NUMERO DE PISOS : 5 TIPOLOGIA 1			
PROYECTO IRAZÚ CONSTRUCTORA: CAMU LOCALIZACION: DOS QUEBRADAS / RISARALDA AREA CONSTRUIDA: 55,98 m² NUMERO DE PISOS : TIPOLOGIA 1			
PROYECTO ARBOLEDA CAMPESTRE PAYANDÉ CONSTRUCTORA: BOLIVAR LOCALIZACION: IBAGUE / TOLIMA AREA CONSTRUIDA: 52 m² NUMERO DE PISOS : TIPOLOGIA 1			
PROYECTO MIRAFLORES CONSTRUCTORA: MARVAL LOCALIZACION: BUCARAMANGA /SANTANDER AREA CONSTRUIDA: 54,48 m² NUMERO DE PISOS : 12 TIPOLOGIA 2			
PROYECTO TORRE OCTAVA CONSTRUCTORA: CAMU LOCALIZACION: CARTAGO /VALLE DEL CAUCA AREA CONSTRUIDA: 51,38 m² NUMERO DE PISOS : 5 TIPOLOGIA 1			
PROYECTO TORRES 20 DE JULIO CONSTRUCTORA: AR CONSTRUCTORA LOCALIZACION: BOGOTA /CUNDINAMARCA AREA CONSTRUIDA: 50,00 m² NUMERO DE PISOS : 30 TIPOLOGIA 1			

Fuente: Elaboración del autor

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Los materiales usados dentro de la vivienda se caracterizan por tener un bajo costo y representan acabados básicos para el uso de sus habitantes , la mayoría de los usuarios no tiene el presupuesto suficiente para poder pagar mejores acabados aun cuando el estado les proporciona un subsidio para la compra de dichas viviendas, por tal motivo la mayoría de estos apartamentos se entregan con condiciones mínimas (ver Figura 3 y 4) esto hace que la conductividad de los materiales sea muy elevada generando sobre calentamiento al interior.

Apartamentos sin pañete exterior

Apartamentos con pañete exterior

Figura 3. Acabados exteriores de la VIS en Colombia

Apartamento con acabados básicos

Apartamento con acabados mejorados

Figura 4. Acabados interiores de la VIS en Colombia

Así mismo como se evidencia en la tabla 5 la cubierta también representa un factor incidente en el calor absorbido en el interior por los materiales usados, lo cual significa que la envolvente es uno de los principales factores de la elevación de la temperatura interior en la vivienda.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 5. Materialidad en la VIS en Colombia

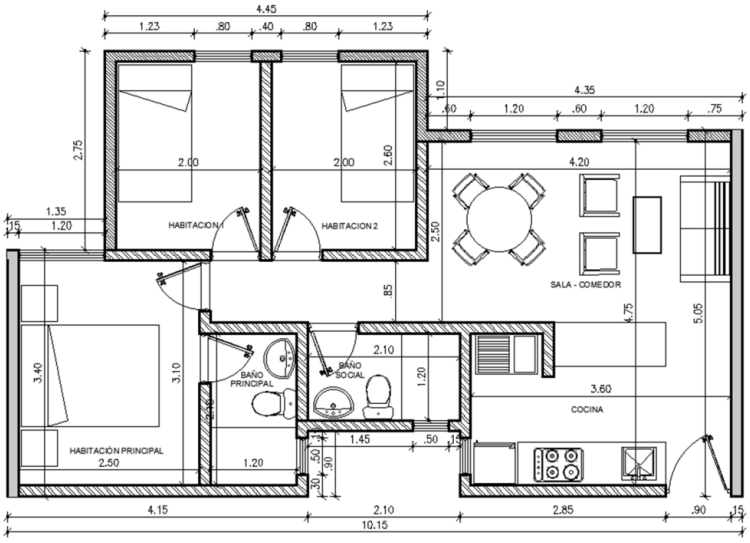
Descripcion	Materialidad	Valor U
Muro exterior	Bloque de albañilería y pañete exterior	2,75
Muro interior	Bloque de albañilería	3,21
losa de contra piso (suelo)	Concreto y cerámica	1,54
losa de entrepiso	Pañete , concreto y cerámica	2,38
Techumbre	Teja metalica	7,25

2.3.3 Elección de caso de estudio.

Teniendo en cuenta los diseños encontrados en la búsqueda de proyectos de VIS ofertados se decidió elegir el del proyecto Torre Octava por que reúne espacialmente las condiciones de los apartamentos catalogados como tipología 1, así mismo se establece que el caso de estudio contempla 5 pisos por ser el número de pisos más representativo en proyectos de ciudades intermedias.

Una vez establecido el diseño a analizar se realiza la digitalización en AutoCAD del apartamento y del bloque con las dimensiones y áreas correspondientes, como se puede ver a continuación en el grafico 10.

Grafico 10. Planta arquitectónica de caso de estudio



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Capítulo 3. Estrategias de refrigeración pasiva en la vivienda

Las edificaciones están en constante intercambio de energía con el medio ambiente, mediante el contacto con el suelo, la atmosfera y los rayos del sol; por medio del análisis de las bondades y riesgos de ese medio ambiente se pueden establecer estrategias de diseño pasivo que permitan refrigerar el espacio interior en este caso del clima cálido húmedo y obtener confort térmico.

En el clima cálido lo principal es evitar que existan ganancias térmicas por la radiación solar, y que las ganancias de calor obtenidas puedan disiparse rápidamente; en coherencia con estos dos principios las estrategias se dividen en 3 la ventilación natural, el control solar y el aislamiento térmico.

Diferentes estudios como los realizados por (Carrazco 2004; Prieto et al. 2018) mencionan que la combinación de estrategias logra tener mejor desempeño que el uso individual; una buena ventilación, el control solar y el uso adecuado de los materiales de la envolvente permiten tener una mejoría térmica en el espacio interior de la vivienda.

3.1 Ventilación Natural

La ventilación natural es un recurso gratuito, renovable e indispensable para tener condiciones confortables en la vivienda, consiste en permitir el ingreso del aire naturalmente sin el apoyo de ningún sistema mecánico, de igual manera permite tener buenas condiciones en la calidad del aire, siempre teniendo presente el entorno térmico que influye en la efectividad de esta estrategia (Michael, Demosthenous y Philokyprou 2017; Tuck et al. 2019); dentro de la ventilación natural encontramos varios sistemas que nos permiten aprovechar mediante elementos constructivos las bondades del aire en diferentes situaciones, tenemos la ventilación cruzada, la ventilación natural simple, la ventilación natural inducida, el efecto chimenea ,el enfriamiento por evaporación y la ventilación nocturna.

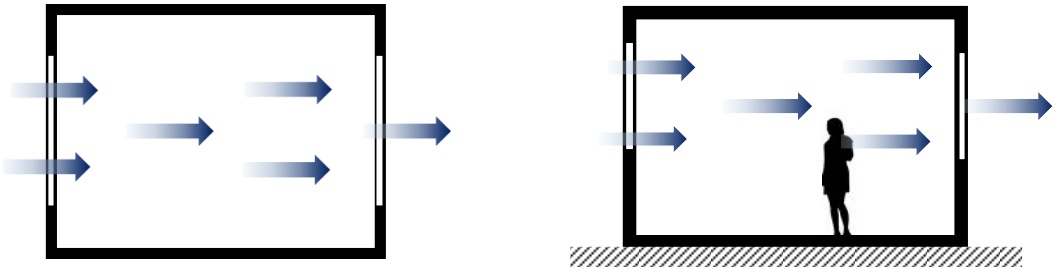
3.1.1 Ventilación cruzada

La ventilación cruzada se caracteriza por tener aperturas de ventana en paredes opuestas adyacentes lo que permite flujo de la entrada y salida del aire, el tamaño de estas aperturas

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

permite interactuar con las velocidades, los caudales del aire y la temperatura del aire, lo que hace de esta estrategia una de las más básicas pero eficientes.

Grafico 11. Ventilación cruzada.

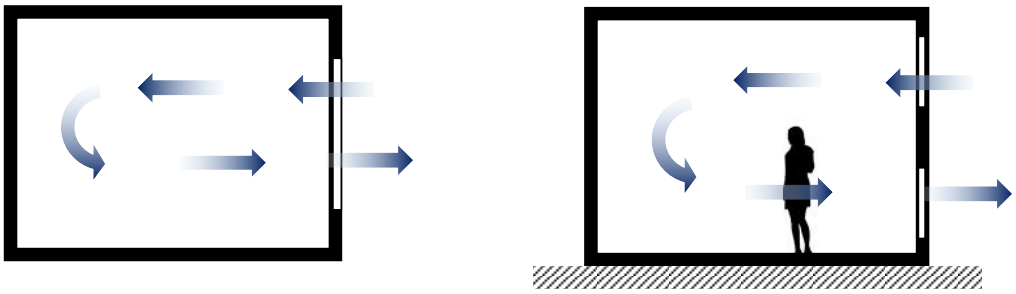


Planta Corte

3.1.2 Ventilación natural simple

Este tipo de ventilación se produce cuando solamente se puede ventilar por una sola fachada, por allí debe de ingresar y salir el aire, en este caso se recomienda establecer dos ventanas diferentes intensificando el flujo del aire; este tipo de ventilación es eficiente en espacios que no tienen tanta profundidad.

Grafico 12. Ventilación Simple.



Planta Corte

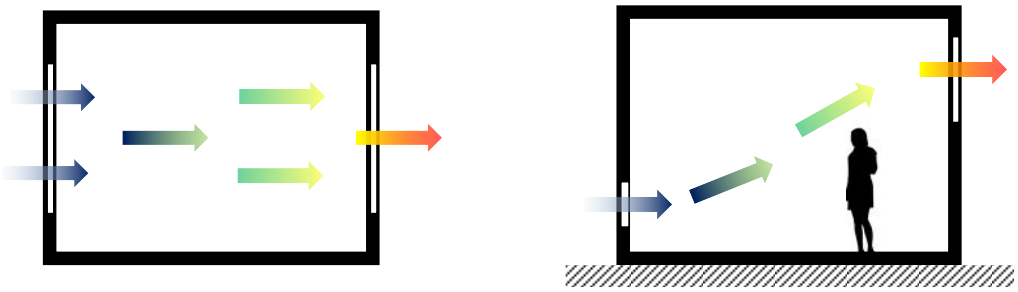
3.1.3 Ventilación natural inducida

Este tipo de ventilación como su nombre lo indica es inducida, por medio del diferencial de temperatura ya que el aire caliente es más ligero que el aire frio en este caso se utiliza una apertura inferior por donde ingresa el aire frio empujando el aire caliente hacia arriba donde

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

existen otras aperturas de salida, generalmente usada cuando la velocidad del viento no es suficiente.

Grafico 13. Ventilación inducida.

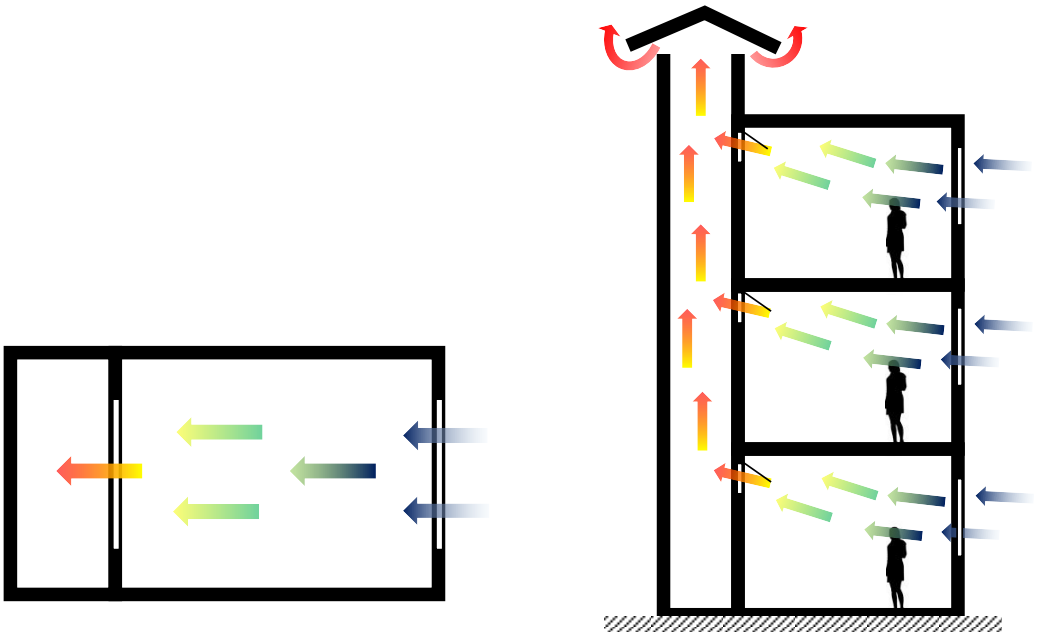


Planta Corte

3.1.4 Ventilación natural de efecto chimenea

Este tipo de ventilación sigue los parámetros de la ventilación natural inducida, pero en una escala mayor ya que generalmente se utiliza en edificios en altura, la salida de aire caliente en la parte superior se refuerza con un material que se caliente forzando a subir el aire a través del techo.

Grafico 14. Ventilación efecto chimenea.



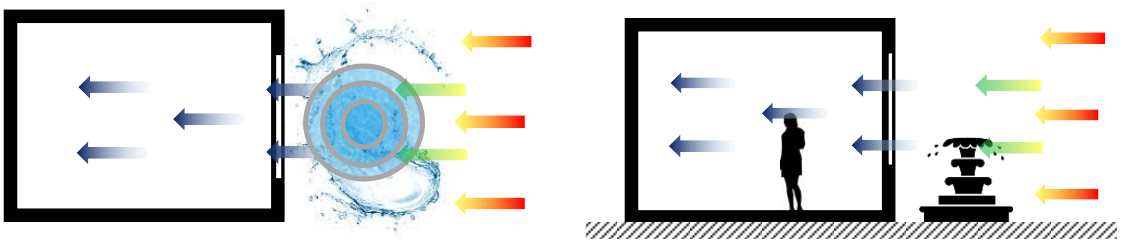
Planta Corte

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.1.5 Enfriamiento por evaporación.

Este tipo de ventilación natural se acompaña de alguna fuente hídrica natural o elaborada como lagos, espejos de agua, fuentes, etc., con la finalidad de proveer de humedad al aire para refrescar especialmente en los climas áridos.

Grafico 15. Enfriamiento por evaporación.

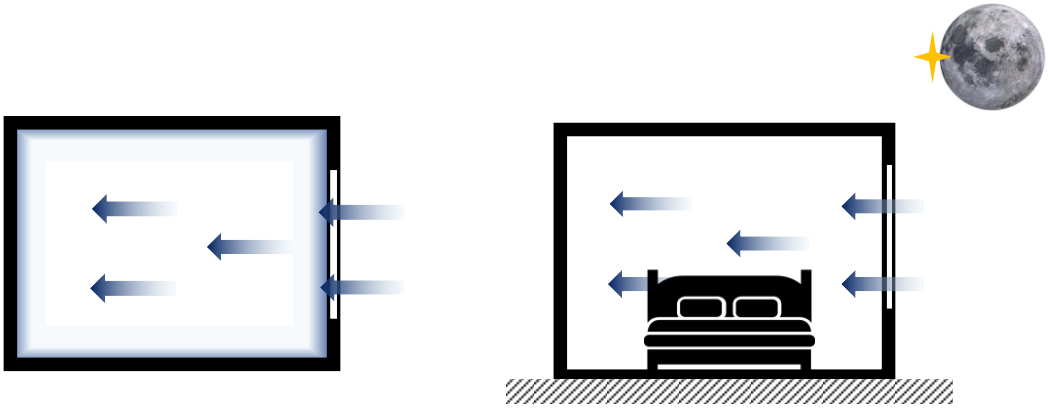


Planta Corte

3.1.6 Ventilación Nocturna

La ventilación Nocturna consiste en la apertura de ventanas en la noche para refrigerar los espacios internos, teniendo en cuenta que en la noche la temperatura exterior tiende a ser menor que la interior, lo que permite refrescar y enfriar la estructura durante toda la noche.

Grafico 16. Ventilación nocturna.



Planta Corte

Estos tipos de ventilación deben ser considerados según el entorno, el clima y los elementos constructivos como las ventanas, su apertura, y las barreras; así mismo se debe tener un control

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

de la velocidad de aire para evitar que el viento que ingresa al interior de la vivienda sea desagradable ,de las condiciones de calidad del aire exterior y de las condiciones de humedad para que no sean contraproducentes (Prieto et al. 2018) ya que en climas extremadamente húmedos se debe de ser más cuidadoso con los parámetros de la ventilación natural.

3.2 Control solar

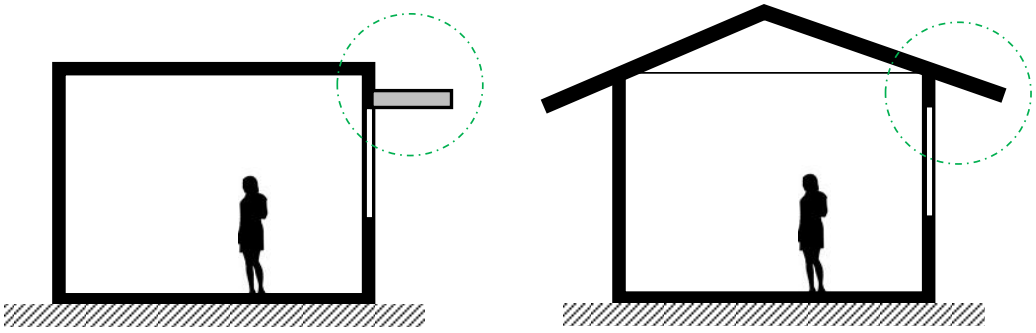
La estrategia de control solar consiste en evitar que la radiación del sol ingrese dentro del apartamento por las zonas vidriadas, para esto se utilizan controles sobre las ventanas, (Escandón, Suárez y Sendra 2019) especialmente cuando las fachadas por orientación del edificio están en sentido este - oeste ya que en las fachadas norte y sur las ganancias solares son menores.

Estudio (Hashemi y Khatami 2017) demuestran que es una estrategia que reduce considerablemente las ganancias solares al interior de la vivienda y que su efectividad está relacionada al tamaño de las ventanas y al elemento de construcción escogido, de igual manera se ha considerado que es una estrategia que ayuda a mejorar pero que por sí sola no logra solucionar los problemas de sobre calentamiento en la vivienda; dentro de los controles solares encontramos(Eleinai y Luna 2020)

3.2.1 Aleros o voladizo

Este tipo de control solar se refiere a cualquier elemento que sobresale horizontalmente desde la fachada, existen aleros continuos o discontinuos en este caso son aquellos que hacen parte del muro o que son colocados como un elemento aparte.

Grafico 17. Alero o voladizo.

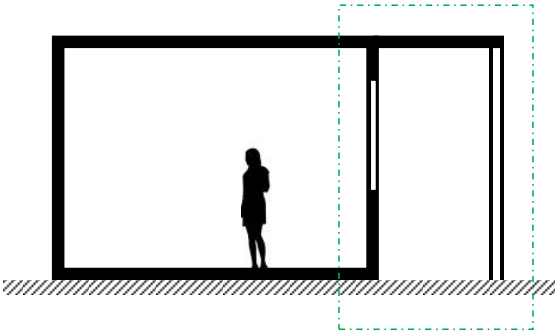


Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.2.2 Corredores.

Los corredores son contemplados como espacios de transición entre el exterior y el interior de la edificación, generalmente están sostenidos por columnas generando un pórtico de cubrimiento especialmente en los accesos.

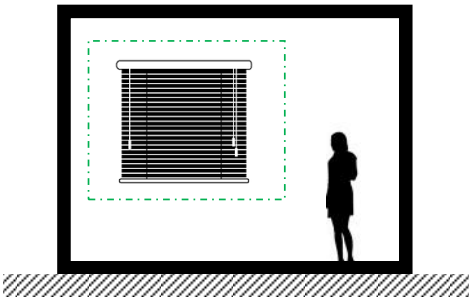
Grafico 18. Corredor.



3.2.3 Persiana horizontal

Es un dispositivo conformado por elementos horizontales que permiten el paso del aire y de luz tamizada contrarrestando los rayos del sol, este tipo de persianas pueden ser de tipo interior o exterior.

Grafico 19. Persiana horizontal.



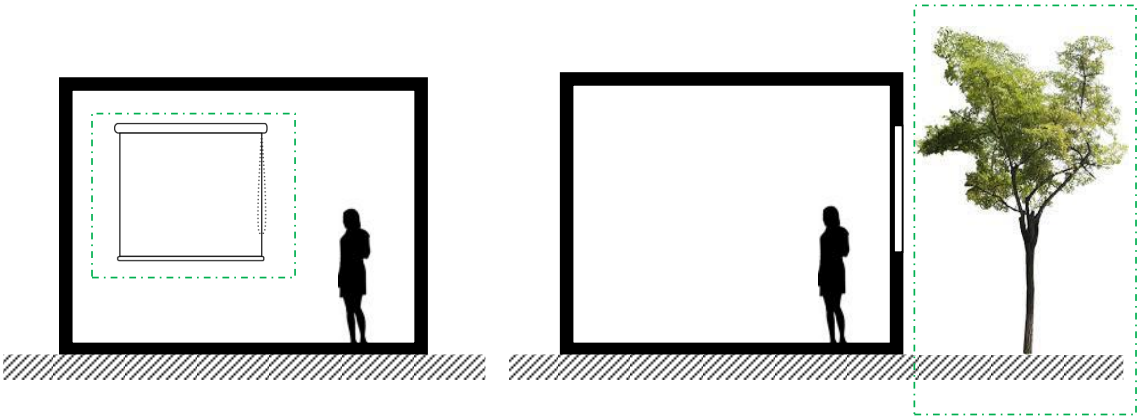
3.2.4 Pantalla

Las pantallas son superficies colocadas frente a la ventana verticalmente, en la parte interna o externa para obstruir los rayos del sol por completo o parcialmente según el material o si es

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

macizo tipo persiana o celosía y en algunos casos de tipo vegetal, al construir una barrera de árboles o plantas que impidan el paso de los rayos del sol.

Grafico 20. Pantalla.

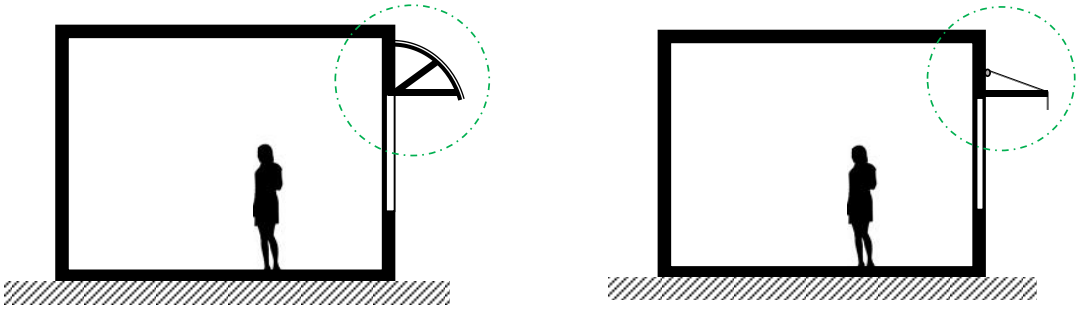


Interna Externa

3.2.5 Toldo

Este tipo de control solar puede ser fijo o plegable y consiste en una lona o tela en las ventanas de tipo translucido u opaco según lo que se quiera controlar y mantener los niveles de iluminación.

Grafico 21. Toldo.



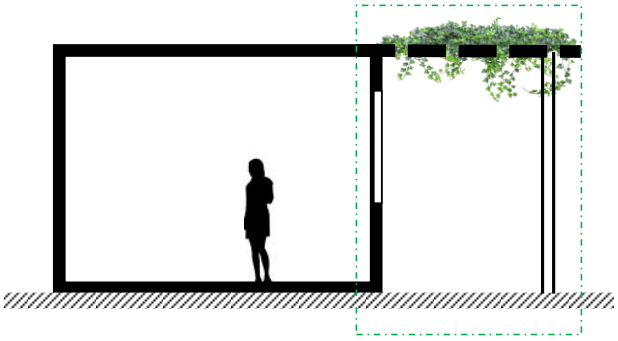
Toldo fijo Toldo retractil

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.2.6 Pérgola.

Es un enrejado abierto horizontal que generalmente emplea vegetación de tipo enredadera, y dentro de los controles solares es uno de los que requiere mayor mantenimiento.

Grafico 22. Pérgola.

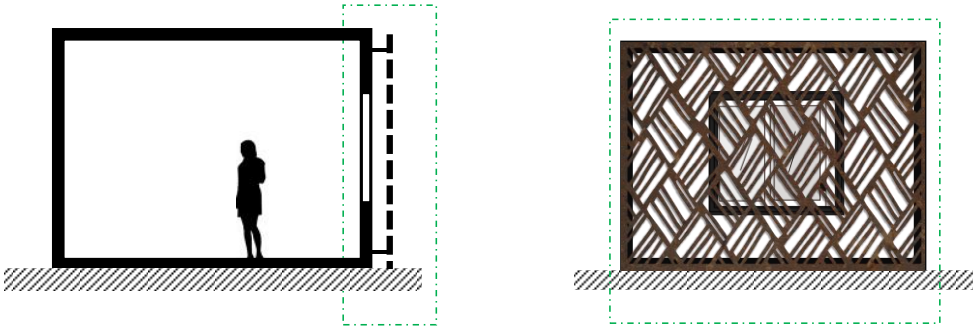


3.2.7 Muro doble

El doble muro considera una cámara de aire entre el muro exterior que generalmente tiene perforaciones para el paso del aire y el interior para evitar las ganancias térmicas por la radiación solar.

En cuanto a los controles solares se debe de establecer cuales se ajustan más a las condiciones deseadas, y se debe de tener cuidado en no obstruir la ventilación y sobre todo la iluminación natural.

Grafico 23. Muro doble.



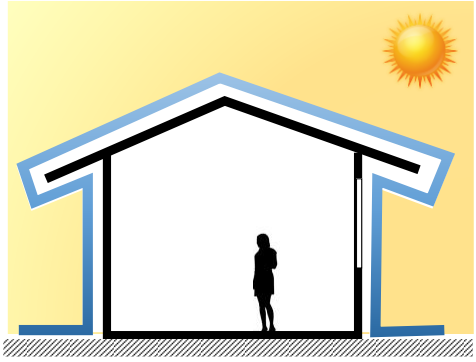
Corte Fachada

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

3.3 Materialidad

De igual manera (Salvetti, Belén, & Fernanda, 2009) la falta de preocupación por el uso adecuado de los materiales de la edificación hace que se altere la calidad del ambiente interior pues el uso de materiales con alta inercia térmica permite el paso del calor de los rayos solares , y es absorbido por la envolvente y transferida hacia el interior, especialmente en la cubierta ya que según (Iucmc 2012) las ganancias sobre superficies perpendiculares al sol tienden a ser mayores, sin embargo la cubierta juega un papel importante (Toe y Kubota 2015) teniendo en cuenta que es una gran superficie en contacto con el sol que supera las ganancias que se puede dar sobre las superficies de fachada orientadas sur- norte (Hashemi y Khatami 2017)

Grafico 24. Envolvente.



3.4 Criterios de selección de estrategias para aplicar en este caso.

Como se mencionó anteriormente las estrategias de ventilación natural, control solar y materialidad tienen muchas posibilidades de aplicación, para esta investigación se aplicaron 3 criterios de selección.

1. Clima. Se tuvieron en cuenta aquellas estrategias recomendadas específicamente para climas cálidos húmedos ya que algunas estrategias tienen beneficios específicos para climas cálidos secos.

2. Instalación. Se seleccionaron las estrategias que pudieran funcionar respecto a las condiciones de diseño del apartamento y que su instalación fuera sencilla sin requerir

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

mayor esfuerzo especialmente para que pudieran implementarse de manera individual por cada apartamento y no de manera grupal.

3. Costo. Este criterio buscaba determinar que las estrategias escogidas fueran de bajo costo para poder ser pagadas por sus usuarios, ya que esta es una gran determinante a la hora de realizar dichas mejoras.

Según esos tres criterios se analizó cada una de las estrategias de ventilación natural, control solar y materialidad, como se puede ver en la tabla 6 a continuación.

Tabla 6. Selección de estrategias según criterios

	Estrategia	Análisis	Selección
Ventilación Natural	Ventilación cruzada	No es posible ya que el apartamento tiene solamente una fachada exterior, además de las condiciones de diseño que no permiten este tipo de ventilación.	✗
	Ventilación Natural simple	Se puede implementar añadiendo una ventana o persiana que complemente las existentes.	✓
	Ventilación natural inducida	Su implementación pudiera no ser tan optima debido a la baja altura que existe entre el piso y el techo de cada apartamento , ya que cuanto más significativa sea la diferencia de altura, mejor es el desempeño de esta estrategia .	✗
	Ventilación natural efecto chimenea	Se dificulta su implementación ya que requiere una intervención de todo el edificio lo cual eleva los costos .	✗
	Enfriamiento por evaporación	No se recomienda ya que puede incrementar en este caso la humedad ya existente en el ambiente	✗
	Ventilación nocturna	Si se considera ya que la temperatura nocturna es mucho menor , lo que permitiría tener un aporte significativo	✓
Control solar	Aleros y voladizos	Pueden servir , en este caso como elementos colocados posterior a la construcción.	✓
	Corredores	Esta pensado como espacios de transición en los accesos, generalmente en construcciones de 1 piso	✗
	Persiana horizontal	Las persianas si bien reducen el paso de los rayos del sol , no los controlan 100%	✗
	Pantalla	Este tipo de estrategia puede obstruir por completo los rayos del sol si se usa un material adecuado.	✓
	Toldo	Este elemento también es viable por ser un elemento añadido además de ser muy liviano	✓
	Pérgola	Este tipo de elemento no cubre 100% los rayos del sol y cuando tiene vegetación requiere mucho mantenimiento	✗
	Muro doble	Este tipo de elemento puede ser adosado después de construido pero suele tapar mucho la iluminación natural además de que genera un costo mas elevado en comparación a las anteriores.	✗

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Materialidad	Muros	Existe posibilidad de encontrar aislantes sencillos y económicos	✓
	Techumbre	Existe posibilidad de encontrar aislantes sencillos y económicos	✓
	Ventanas	Tener mejores condiciones de aislamiento y control solar en ventanas suele ser costoso ya que los vidrios con estas propiedades tienen precios elevados	✗

3.5 Estrategias seleccionadas para el estudio.

Según los criterios de selección se decidió escoger 2 estrategias de ventilación natural, 2 estrategias de control solar y dos estrategias de materialidad, para un total de 6 estrategias que se evaluaron en el modelo de DesignBuilder.

Como resultado las estrategias seleccionadas para el estudio se presentan a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Estrategias seleccionadas para estudio

Estrategias seleccionadas según criterios		Abreviatura	Costo % sobre valor máximo de la vivienda
Ventilación Natural	Cambio de ventanas corredizas 50% apertura a plegables 90% apertura	VNA	1.82 %
	Ventilación natural simple y nocturna mediante persiana inferior	VNP	0.56%
Control solar	Externo- Toldo de estructura metálica con tela.	CSE	0.47%
	Interno - Pantalla tipo black out (textil en fibra de vidrio y PVC , delgado)	CSI	0.38%
Materialidad	Mejora en muros de albañilería y pañete exterior U 2.75 a muros de albañilería y pañete exterior e interior U2.46	MM	0.64%
	Mejora en techumbre de teja metálica U7.25 a teja metálica más aislante de EPS y cielo raso en Gypsum U 0.18	MT	1.79%

3.5.1 Ventilación natural

La ventilación natural es una estrategia fundamental para lograr tener una temperatura agradable al interior, teniendo en cuenta las condiciones de los apartamentos se plantean dos estrategias de ventilación natural como se ve en la figura 5.

La primera denominada ventilación natural por apertura (VNA) consiste en hacer el cambio de ventanas corredizas por ventanas plegables para alcanzar una apertura del 90%, teniendo en cuenta que la corrediza solo alcanza un 50% de apertura.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

La segunda estrategia denominada ventilación natural con persianas (VNP) contempla una persiana en la parte inferior de cada una de las ventanas, operando 24 horas al día para tener ventilación nocturna y una ventilación simple entre la persiana y la ventana superior, ya que el apartamento solamente tiene una fachada hacia el exterior.

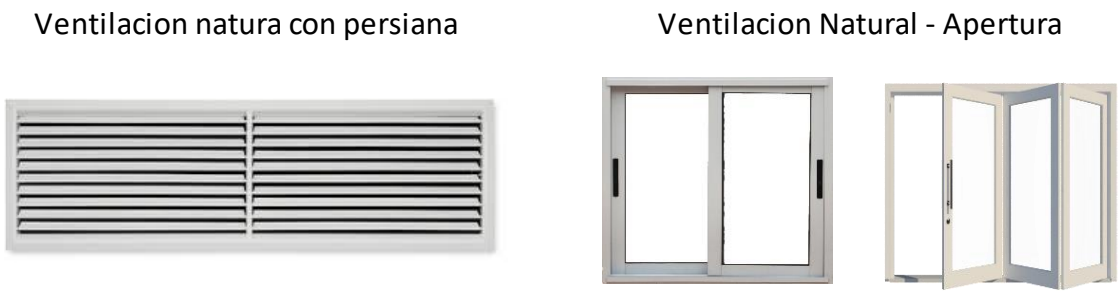


Figura 5. Estrategias de Ventilación Natural

3.5.2 Control solar

El control solar es una de las estrategias más sencillas de la cual carece la VIS, se puede implementar en diversos materiales, en este caso se plantearon dos estrategias de control solar una externa y una interna como se ve en la figura 6.

En el control solar externo (CSE) se analizó alero y toldo que eran las dos posibles opciones para implementar, y se concluyó que el toldo era la mejor opción por ser más liviano y por qué el material textil tiene menos inercia térmica sobre los materiales usados en los aleros; el toldo se planteó mediante la instalación de una estructura metálica con recubrimiento en tela para intemperie de color claro y que en el caso de tener mayores recursos se podría implementar sobre la misma estructura otro material más resistente, en ambos casos puede ser instalada por los usuarios de una manera fácil y rápida.

En cuanto al control solar interno (CSI) se proyectó una pantalla tipo black out de tal manera que los usuarios pudieran mantenerlas cerradas en los espacios que no se están usando o que no se requieren abrir por iluminación natural, para evitar en ingreso de radiación solar al interior de la vivienda.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Control Solar Externo

Control Solar Interno

Figura 6.Estrategias de control solar

3.5.3 Materialidad

Respecto a el mejoramiento de la envolvente de la VIS en la fachada y la cubierta se determinó que el mejoramiento de muro se evaluara en los 3 pisos mientras que el de la cubierta únicamente en el 5 piso.

Esta estrategia consistió en el mejoramiento de los muros de la fachada para aislar el interior de la VIS, en un principio se colocó un aislante al interior y luego un acabado, pero se obtuvieron resultados desfavorables, mientras que, con un revoque de pañete en cemento, se mejoró la condición térmica del edificio. (ver Gráfico 25)

En cuanto a la techumbre se instaló un material aislante a 20 cm de la teja y un cielo raso dejando una zona con aire donde se instalaron unas rejillas hacia el exterior para permitir que se airee esta zona, como se ve en el grafico 26.

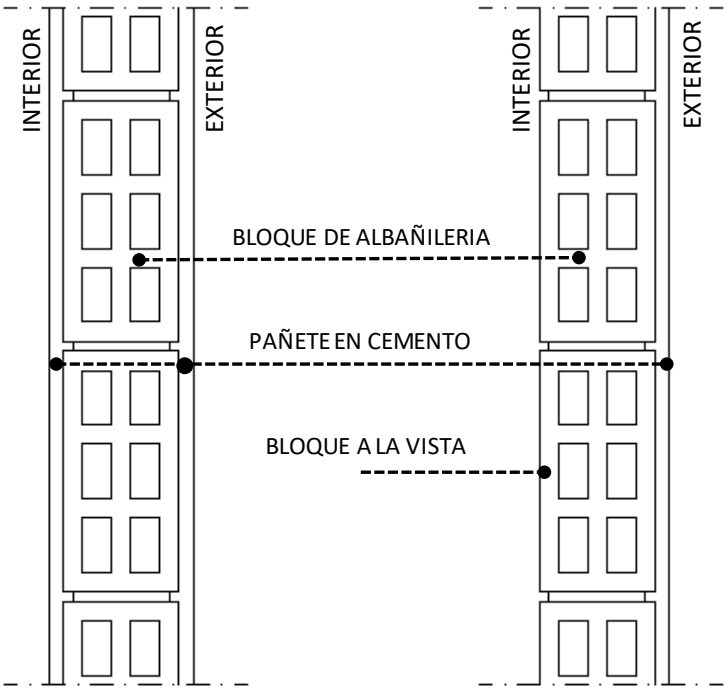
De igual manera se obtuvieron los valores u indicados en la tabla 8

Tabla 8.Estrategias de materialidad

Descripcion	Materialidad	Valor U
Muro exterior	Bloque de albañilería y pañete exterior	2,75
Techumbre	Teja metalica	7,25
Muro exterior - mejorado	Bloque de albañilería y pañete exterior e interior	2,46
Techumbre - mejorada	Teja metalica - EPS - cielo razo gypsum	0,18

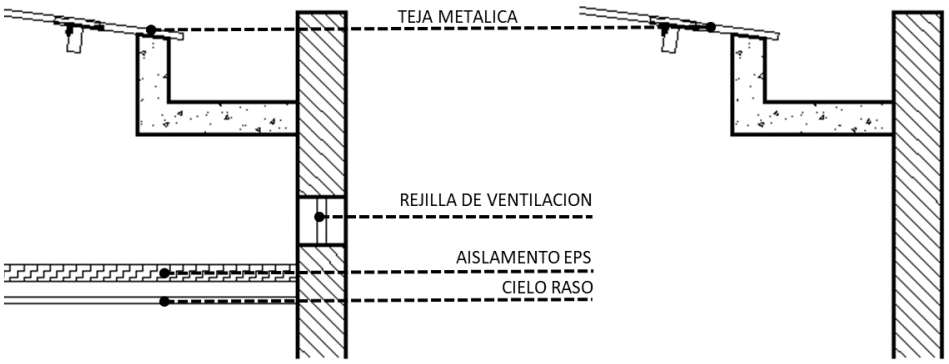
Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Grafico 25. Estrategia de materialidad muro (corte constructivo).



Muro exterior mejorado Muro exterior existente

Grafico 26. Estrategia de materialidad techumbre (corte constructivo).



Tecumbre mejorada Techumbre existente

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Capítulo 4. Diagnóstico de la temperatura interior de la Vis

Mediante simulaciones en el programa DesignBuilder con Motor de cálculo Energy Plus se analizó la VIS en Colombia para determinar el porcentaje de confort térmico al interior y a su vez la demanda energética asociada a la refrigeración, una vez obtenidos estos datos se realizó un mejoramiento mediante las estrategias pasivas de refrigeración escogidas y se simulo nuevamente cada una de ellas en el clima actual para verificar su aporte en la reducción de la temperatura interior, posterior a esto se verifico el aporte de cada una de las estrategias según el escenario de cambio climático escogido en los 3 periodos de tiempo seleccionados (2030-2050-2080)

4.1 Confort

Las condiciones del medio ambiente inciden sobre los parámetros térmicos, acústicos y lumínicos al interior de la vivienda, influyendo sobre el confort físico, sociológico, biológico y psicológico, percibidos por sus habitantes como condiciones de armonía o desequilibrio; dentro de los elementos físicos del entorno exterior se analizaron aquellos que influyen sobre el confort térmico al interior de la vivienda.

Teniendo en cuenta que la vivienda tiene como principio brindar una protección a los habitantes de las condiciones externas se considera a la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar como los cuatro factores sobre los cuales la vivienda debe brindar comodidad.

4.1.1 Confort térmico

El confort térmico es la sensación neutra de una persona respecto a un clima determinado. Según la norma ISO 7730 el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”.

El confort térmico de la vivienda se establece dentro de un rango intermedio entre el frio y el calor intenso, es esencial para la satisfacción de los habitantes y así mismo influye en el consumo de energía.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Establecer condiciones de confort resulta complejo teniendo en cuenta que son múltiples factores los que inciden, en cuanto a la vivienda, los materiales usados, la ventilación y los controles solares, quienes juegan un papel importante; respecto a sus habitantes la actividad realizada al interior, su vestimenta, edad y capacidad de adaptación también influyen en la percepción de confort.

4.1.2 Confort adaptativo

Para que una persona se considere en condiciones confortables debe establecerse la condición básica, que permite a su cuerpo alcanzar una termorregulación; es decir, que el cuerpo pueda equilibrar el calor ganado del entorno y eliminarlo mediante procesos fisiológicos, como por ejemplo la sudoración.

Sin embargo, aun cuando se alcanza la regulación térmica de su cuerpo no se garantiza estar en confort, pues el cuerpo puede establecer una regulación aun cuando las condiciones térmicas no son consideradas como confortables, por lo tanto, para establecer el confort se deben establecer muchos factores importantes.

Existen diversos métodos que pretenden evaluar en qué medida se alcanza el confort térmico en una determinada situación, considerando las condiciones específicas de un lugar y de su usuario, estableciendo un enfoque adaptativo.

Los modelos de confort adaptativo más relevantes son el ASHRAE 55 y el EN 12251(Ferrari y Zanotto 2012), aplicados en edificios sin sistemas activos donde sus usuarios tienen la opción de adaptar medidas pasivas como operar ventanas y adaptar su ropa (clo) entre 0.5 vestimenta ligera de verano (pantalón corto camisa manga corta y sandalias) y 1.0 vestimenta de invierno ligera (camisa manga larga pantalón y zapatos cerrados) modificando las condiciones térmicas lo que les permite regular la temperatura más fácilmente. Así mismo se considera dentro de dichos modelos una tasa metabólica que va entre 1 y 1.3 que equivale a estar sentado tranquilo o de pie relajado, actividades frecuentes en la vivienda.

El modelo ASHRAE 55 establece dos niveles de aceptabilidad del confort térmico del 80 y 90%, donde θrm es la temperatura media ponderada, y la diferencia en la formula radica en la suma o resta del valor final que según el rango está en 3.5 y 2.5.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

- 80% aceptabilidad

  Límite superior de la zona de confort = $0.31 * \theta rm + 17.8 + 3.5$

  Límite inferior de la zona de confort = $0.31 * \theta rm + 17.8 - 3.5$

- 90% aceptabilidad

  Límite superior de la zona de confort = $0.31 * \theta rm + 17.8 + 2.5$

  Límite inferior de la zona de confort = $0.31 * \theta\ rm + 17.8 – 2.5$

Mientras que el modelo EN 15251 establece cuatro niveles de aceptabilidad del 90%, 80%,65% y de menos del 65% según las condiciones de edificabilidad y usuarios, la categoría I con alto nivel de expectativa, recomendado para espacios utilizados por personas débiles y sensible con requisitos especiales, como discapacitados, enfermos, niños muy pequeños o ancianos (rango de aceptabilidad: 90%) ,la categoría II con nivel normal de expectativa, debe usarse para edificios nuevos o remodelados (rango de aceptabilidad: 80%), la categoría III con nivel de expectativa aceptable y moderado, puede usarse para edificios existentes (rango de aceptabilidad: 65%), y la categoría IV con valores fuera de los criterios de las categorías anteriores, esta categoría solo debe ser aceptado durante una parte limitada del año (rango de aceptabilidad <65%).

- Categoría I - 90% aceptabilidad

  Límite superior de la zona de confort = $0.33 * \theta rm + 18.8 + 2$

  Límite inferior de la zona de confort = $0.33 * \theta rm + 18.8 – 2$

- Categoría II - 80% aceptabilidad

  Límite superior de la zona de confort = $0.33 * \theta rm + 18.8 + 3$

  Límite inferior de la zona de confort = $0.33 * \theta rm + 18.8 - 3$

Donde θrm es = $(\theta ed - 1 + 0.8 * \theta ed - 2 + 0.6 * \theta ed - 3 + 0.5 * \theta ed - 4 + 0.4 * \theta ed - 5 + 0.3 * \theta ed - 6 + 0.2 * \theta ed - 7) /0.8$

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

En ambos métodos, para el cálculo de la temperatura de funcionamiento promedio (θ) de un día concreto, se utilizan las temperaturas promedio externas de los siete días anteriores, siendo θed – 1 el promedio temperatura exterior diaria del día anterior y θed – 2 la temperatura exterior promedio del día.

Según estos dos métodos se hizo un análisis del rango obtenido en cada uno en el año base y se determinó que el rango de confort tiene una diferencia de 9˚C aproximadamente entre la temperatura mínima y máxima para ambos casos como se puede ver en la tabla 9.

Tabla 9.Rangos de confort adaptativo

Cold	**Confort Adaptativo Año Base EN15251**			Hot
	Slightly cool	Comfort	Slightly warm	
> 18,8	18,8-19,8	18,8 - 27,05	27,05 - 28,05	28,05 <
Confort entre 18,8 y 28,05 =Rango de 9,25 ˚C				

Cold	**Confort Adaptativo Año Base ASHRAE 55**			Hot
	Slightly cool	Comfort	Slightly warm	
> 17,61	17,61-18,61	18,61-25,70	25,70-26,70	26,70<
Confort entre 18,61 y 26,7 =Rango de 9,09 ˚C				

Estudios de confort adaptativo establecen que el método Ashrae 55 en climas cálidos establece el rango de temperatura en condiciones donde sus habitantes no los considerarían definidos como tal, así mismo Según (Mishra y Ramgopal 2015) el análisis de varios métodos de confort adaptativo comparados con encuestas a los usuarios logro determinar que el modelo que más se acercaba a las condiciones reales del estudio de campo era el EN 152551 además de ser el método que lograba establecer mayor ahorro de energía; y siendo el método EN 152551 el más idóneo para el análisis de vivienda sin sistema de HVAC que brinda resultados positivos para el desempeño de la vivienda según (Rubio-Bellido, C., Pérez-Fargallo, A., Pulido-Arcas 2017); según esto se decide que para esta investigación el método de confort adaptativo EN152551 será el que determiné las condiciones de confort para el clima de estudio.

4.2 Demanda de Refrigeración

La demanda energética de refrigeración es la energía útil que necesita la vivienda para mantener las condiciones mínimas de confort en su interior, sus valores son inversamente proporcionales a

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

los del confort, ya que la demanda de refrigeración aumentara cuando las condiciones de confort disminuyen.

Para efectos de este análisis se determinó evaluar la demanda de refrigeración con un sistema de aire acondicionado eléctrico y se estableció un COP intermedio de 3,4, que es el ofrecido actualmente por equipos de clasificación energética tipo C, teniendo en cuenta que los equipos de clasificación A son mucho mejores pero que quizá los usuarios no tengan el presupuesto para invertir en los mejores equipos del mercado.

4.3 Condiciones actuales de la VIS

Una vez elaborado el modelo completo en DesignBuilder teniendo en cuenta el diseño del apartamento y las condiciones de borde de la tabla 10 se analizaron mediante simulaciones dos apartamentos con dos orientaciones para definir la más desfavorable térmicamente, y se identificó que el bloque de apartamentos implantado con las fachadas orientadas al oriente y occidente tenía un comportamiento térmico interior con un 1°C superior respecto a la implantación en donde las fachadas de la VIS estaban orientadas al norte y sur.

Tabla 10. Condiciones de uso y ocupación de la VIS

	Parámetro	Criterio	Comentario
Sala - Comedor	Población	4 (personas)	
	Densidad	0,16 (pers/m2)	
	Área	24,23 (m2)	
	Horario ocupación 100%	7am- 8am / 4pm-8pm	Toda la familia
	Horario ocupación 25%	8am-2pm/	Madre en casa
	Horario Carga cocina	6:00 a 8:00 - 10:00 a 12:00 - 17:00 a 19:00	3 veces al día -Gas natural
Hab. Principal	Población	2 (personas)	
	Densidad	0,2 (pers/m2)	
	Área	10,02 (m2)	
	Horario ocupación 100%	8pm-7am	Madre y padre
	Horario ocupación 25%	2pm-4pm	Madre en casa
Hab. 1 y 2	Población	1 (persona)	
	Densidad	0,16 (pers/m2)	
	Área	6,12 (m2)	
	Horario ocupación 100%	8pm-7am /2pm -4pm	
Baño 1 y 2	Población	1 (persona)	
	Densidad	0,36 (pers/m2)	
	Área	2,75 (m2)	
	Horario ocupación 100%	2hrs al día cada baño	

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Gral.	Clo	0,5	
	Actividad	100 - 200 w	Seated quiet
Construcción	Muro exterior	Bloque de albañilería y pañete exterior	
	Muro interior	Bloque de albañilería	
	losa de contra piso (suelo)	Concreto y cerámica	
	losa de entrepiso	Pañete , concreto y cerámica	
	Techumbre	Teja metálica	
	Infiltraciones	10 (Ac/h 50 Pa)	Según manual de hermeticidad
Ventana	vidrio	Simple	
	% de apertura	50	
	tipo de ventana	Corrediza	
	divisiones de ventana	2	
Opciones Simulación	Ventilación Natural	Calculada	
	Sombras incluidas	Ganancias	
	Exposición de Viento	Normal	
	Datos de Simulación	Por zonas	

Una vez establecida la orientación del bloque de apartamentos se consideró el análisis de los pisos 1,3 y 5 teniendo en cuenta que el primer piso está en contacto con el suelo, el tercero está en medio de dos apartamentos y el quinto está en contacto con la cubierta; en cada piso se analizaron cuatro apartamentos dos de ellos en las esquinas del bloque y los otros dos medianeros como se puede ver en el grafico 27 y se obtuvieron los resultados que podemos ver en la tabla 11.

Grafico 27.Esquema de apartamentos objeto de análisis inicial

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 11. Apartamentos objeto de análisis inicial

DESEMPEÑO TERMICO DE APARTAMENTOS EN DISTINTAS UBICACIONES						
Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**
1A	0,00%	0,00%	11,72%	20,62%	67,66%	32,34%
1B	0,00%	0,00%	6,22%	15,26%	78,52%	**21,48%**
1C	0,00%	0,00%	21,39%	23,42%	55,18%	44,82%
1D	0,00%	0,00%	9,08%	20,40%	70,53%	29,47%
3A	0,00%	0,00%	10,38%	17,09%	72,53%	27,47%
3B	0,00%	0,00%	4,83%	11,61%	83,56%	**16,44%**
3C	0,00%	0,00%	17,66%	21,30%	61,04%	38,96%
3D	0,00%	0,00%	6,45%	15,94%	77,61%	22,39%
5A	0,00%	0,00%	10,21%	14,67%	75,13%	24,87%
5B	0,00%	0,00%	5,01%	10,00%	84,99%	**15,01%**
5C	0,00%	0,00%	9,18%	14,49%	76,34%	23,66%
5D	0,00%	0,00%	5,70%	12,10%	82,20%	17,80%

El análisis inicial del comportamiento térmico de los apartamentos busco establecer cuáles son los más desfavorables y con distintas condiciones para analizar, dentro de los 12 casos analizados se encontró que los apartamentos con mayores temperaturas al interior eran los medianeros localizados con la fachada hacia el oriente, denominados con la letra B, por tal motivo se decide realizar el análisis experimental del apartamento 1B, 3B y 5B.

Así mismo los primeros resultados dan cuenta de que la temperatura interior del edificio es mucho mayor que la del ambiente exterior, esto debido a las características de los materiales usados, la falta de planeación en la ventilación natural y la carencia de controles solares, y en relación a la diferencia de temperaturas entre los apartamentos medianeros y los esquineros se puede determinar que el hecho de que los esquineros tengan mayor superficie en contacto con el exterior en la fachada con orientación norte, permite tener un intercambio de temperatura mayor que aquellos que están intermedios.

4.4 Mejoramiento de la VIS en la actualidad

El mejoramiento de la vivienda de interés social se planteó de tal manera que los habitantes de estas pudieran realizarlos progresivamente y con sus propias manos para mantener un costo bajo de implementación; teniendo en cuenta las estrategias seleccionas de control solar, ventilación natural y materialidad se comprobó mediante simulaciones el aporte individual de cada estrategia

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

respecto al confort térmico de la VIS, además de la reducción de la demanda de refrigeración como se puede ver en la tabla 12.

Tabla 12.Resultados de estrategias pasivas de refrigeración

DESEMPEÑO DE ESTRATEGIAS EN LA VIS EN EL AÑO BASE								
Caso	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**	**Demanda Refrigeración (kWh)**
Base	1B	0,00%	0,00%	6,22%	15,26%	78,52%	21,48%	6272,01
	3B	0,00%	0,00%	4,83%	11,61%	83,56%	16,44%	7298,55
	5B	0,00%	0,00%	5,01%	10,00%	84,99%	15,01%	8006,21
Control solar interno (CSI)	1B	0,00%	0,00%	40,11%	22,24%	37,65%	62,35%	1450,79
	3B	0,00%	0,00%	37,12%	22,74%	40,14%	59,86%	1538,41
	5B	0,00%	0,00%	33,05%	20,50%	46,45%	53,55%	1618,48
Control solar externo (CSE)	1B	0,00%	0,00%	50,17%	22,97%	26,86%	73,14%	357,71
	3B	0,00%	0,00%	46,80%	23,63%	29,57%	70,43%	448,12
	5B	0,00%	0,00%	42,33%	20,75%	36,92%	63,08%	924,11
Ventilación Natural - Persianas (VNP)	1B	0,00%	0,00%	62,35%	16,47%	21,18%	78,82%	235,27
	3B	0,00%	0,00%	62,03%	15,91%	22,05%	**77,95%**	**257,73**
	5B	0,00%	0,00%	48,05%	16,72%	35,23%	64,77%	870,23
Ventilación Natural - 90% de apertura (VNA)	1B	0,00%	0,00%	54,98%	19,46%	25,56%	74,44%	302,35
	3B	0,00%	0,00%	53,49%	18,53%	27,98%	72,02%	387,46
	5B	0,00%	0,00%	48,24%	16,97%	34,78%	**65,22%**	**857,37**
Mejoramiento de muro exterior (MM)	1B	0,00%	0,00%	99,43%	0,57%	0,00%	**100,00%**	**113,71**
	3B	0,00%	0,00%	1,67%	6,37%	91,96%	8,04%	8923,90
	5B	0,00%	0,00%	1,68%	6,34%	91,99%	8,01%	8929,32
Mejoramiento de techumbre (MT)	5B	0,00%	0,00%	5,03%	10,34%	84,62%	15,38%	7999,34

Mediante las simulaciones se logró identificar que las estrategias de ventilación son las que ofrecen un mayor aporte individual en los 3 pisos, de igual manera se puede observar que al tener un mayor aislamiento en muros deteriora la calidad del espacio interior en los apartamentos del piso 3 y 5, y respecto al piso 1 se identifica una mejoría del 100% del confort el cual suponemos que es por estar en contacto con el suelo y tener la posibilidad de transferir el calor rápidamente.

A pesar de los bajos resultados del mejoramiento de muro en los pisos 3 y 5 se plantea implementarlos en las simulaciones futuras, teniendo en cuenta que se combinaran en algún momento con mejoras en la ventilación natural, dando la posibilidad de mejorar su desempeño.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.5 La VIS frente al Cambio climático

La VIS se enfrentará a grandes cambios en el interior en consecuencia a la elevación de la temperatura exterior y los cambios en la humedad, dichos cambios se simularon para tener un panorama de los efectos del cambio climático sobre la VIS en condiciones actuales en los años 2030, 2050 y 2080, y se obtuvieron los resultados visibles en la tabla 13.

Tabla 13.Resultados del confort en la vivienda sin intervención.

COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA VIS SIN MEJORAS EN CADA ESCENARIO DE CAMBIO CLIMATICO								
Año	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**	**Demanda Refrigeración (kWh)**
BASE	1B	0,00%	0,00%	6,22%	15,26%	78,52%	21,48%	6272,01
	3B	0,00%	0,00%	4,83%	11,61%	83,56%	16,44%	7298,55
	5B	0,00%	0,00%	5,01%	10,00%	84,99%	15,01%	8006,21
2030	1B	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%	99,83%	0,17%	11359,13
	3B	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	99,94%	**0,06%**	13554,51
	5B	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	99,93%	0,07%	15484,60
2050	1B	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	99,97%	0,03%	12474,48
	3B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	**0,00%**	14568,50
	5B	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	99,95%	0,05%	16633,99
2080	1B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	**0,00%**	13770,48
	3B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	**0,00%**	16774,87
	5B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	**0,00%**	19116,20

Según los resultados se puede determinar que el estado de confort en la VIS será bastante desfavorable, teniendo en cuenta que en los años 2030,2050 y 2080 no se alcanza a tener ni el 1% del confort, lo cual evidencia un gran desafío para la adaptación de la vivienda a las nuevas condiciones.

Estos resultados de confort obtenidos en las simulaciones, se basaron en los siguientes rangos de temperatura según el modelo EN15251, los cuales variaron en cada año del escenario futuro como se puede ver en la tabla 14.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 14.Rangos de Confort en escenarios futuros.

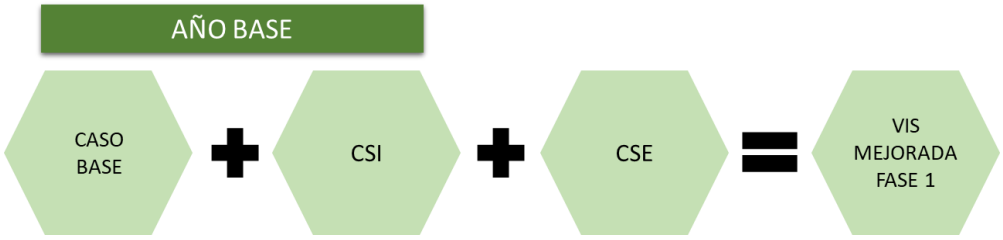
Año	Cold	Confort Adaptativo			Hot
		Slightly cool	Comfort	Slightly warm	
Base	> 18,82	18,82-19,82	18,8-27,05	27,05-28,05	28,05 <
2030	> 18,82	18,82-19,82	18,82-28,35	28,35-29,35	29,35 <
2050	> 18,82	18,82-19,82	19,82-28,47	28,47-29,47	29,47 <
2080	> 18,82	18,82-19,82	19,82-28,76	28,76-29,76	29,76 <

Los rangos de confort aumentan ente el año base y el año 2030 sobre 1°C mientras que entre el año base y el 2080 no alcanza a llegar a los 2°C

4.5.1 Año Base

Teniendo en cuenta las características de la vivienda y el clima se decide empezar con la implementación de las estrategias lo antes posible, para ir mejorando el confort en la vivienda antes de llegar al año 2030, las estrategias que se contemplan en este caso son las de control solar (Grafico 28) por ser las que tienen menor costo alcanzando un porcentaje de confort del 75.37% para el apartamento 1B, el 72.59% para el apartamento 3B y de 64.47% para el apartamento 5B, de igual manera se logra establecer una reducción de la demanda de refrigeración en un promedio de 90% en los 3 pisos, como podemos ver en la tabla 15.

Grafico 28.Fase 1 de mejoramiento



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 15.Resultados de simulación Fase 1

MEJORAMIENTO DE VIS EN AÑO BASE- FASE 1								
Año	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**	**Demanda Refrigeración (kWh)**
BASE	1B	0,00%	0,00%	6,22%	15,26%	78,52%	21,48%	6272,01
	3B	0,00%	0,00%	4,83%	11,61%	83,56%	16,44%	7298,55
	5B	0,00%	0,00%	5,01%	10,00%	84,99%	15,01%	8006,21
BASE + CSI	1B	0,00%	0,00%	40,11%	22,24%	37,65%	62,35%	1450,79
	3B	0,00%	0,00%	37,12%	22,74%	40,14%	59,86%	1538,41
	5B	0,00%	0,00%	33,05%	20,50%	46,45%	53,55%	1618,48
BASE + CSI + CSE =VIS MEJORA FASE1	1B	0,00%	0,00%	51,85%	23,52%	24,63%	75,37%	287,76
	3B	0,00%	0,00%	48,31%	24,28%	27,41%	72,59%	373,30
	5B	0,00%	0,00%	43,36%	21,12%	35,53%	64,47%	885,58

4.5.2 Año 2030

Para el año 2030 se simulo la VIS con el mejoramiento de la fase 1 y se logró establecer que por el aumento de temperatura el porcentaje de confort se redujo en un 69.94% para el apartamento 1B, el 69.02% para el apartamento 3B y de 61.35% para el apartamento 5B; siendo este el panorama partimos nuevamente con un porcentaje de confort bajo para implementar las nuevas estrategias, que en este caso son las estrategias de ventilación natural.

Se implementó inicialmente el cambio de ventanas corredizas a plegables para alcanzar una apertura del 90%, y posterior a esto se colocaron las persianas bajo las ventanas con operación continua.

Teniendo en cuenta que solamente se alcanzó a obtener un 27,42% para el apartamento 1B, el 24,77% para el apartamento 3B y el 15,75% para el apartamento 5B; se decide implementar las estrategias de materialidad que comprenden una mejora en muros y techumbre. (Grafico 29)

En este caso la demanda de refrigeración a pesar del aumento de temperatura en el año 2030 logra mantener valores menores a los obtenidos en el año base sin ningún mejoramiento en los pisos 3 y 5, mientras que en el 1 pisos tiene una reducción muchísimo mayor, como se puede ver en los resultados de la tabla 16.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Grafico 29.Fase 2 de mejoramiento

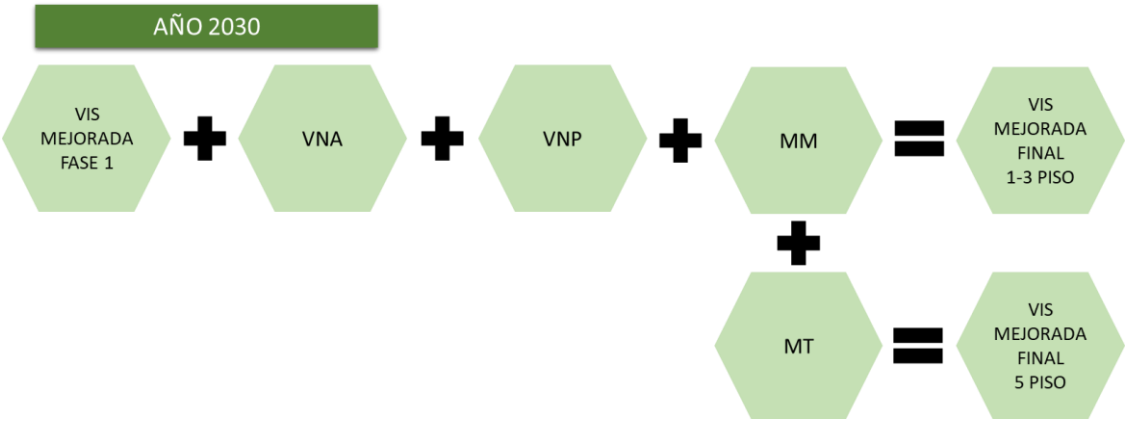


Tabla 16.Resultados de simulación Fase Final

MEJORAMIENTO DE VIS EN AÑO 2030 - FASE FINAL								
Año	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**	**Demanda Refrigeración (kWh)**
2030 VIS MEJORA FASE 1	1B	0,00%	0,00%	0,38%	5,06%	94,57%	5,43%	9537,72
	3B	0,00%	0,00%	0,31%	3,26%	96,43%	3,57%	10112,76
	5B	0,00%	0,00%	0,23%	2,89%	96,88%	3,12%	10383,11
2030 + VNA	1B	0,00%	0,00%	2,95%	10,70%	86,36%	13,64%	5211,31
	3B	0,00%	0,00%	1,91%	8,31%	89,78%	10,22%	5974,51
	5B	0,00%	0,00%	2,34%	7,63%	90,03%	9,97%	7649,57
2030 + VNA+ VNP	1B	0,00%	0,00%	13,25%	14,17%	72,58%	27,42%	5023,24
	3B	0,00%	0,00%	11,48%	13,29%	75,23%	**24,77%**	**5641,25**
	5B	0,00%	0,00%	4,86%	10,89%	84,25%	15,75%	7304,42
2030 + VNA+ VNP+ MM	**1B**	0,00%	0,00%	92,81%	6,72%	0,47%	**99,53%**	**122,63**
	3B	0,00%	0,00%	10,96%	13,25%	75,79%	24,21%	5903,70
	5B	0,00%	0,00%	4,30%	10,61%	85,09%	14,91%	7340,22
2030 + VNA+ VNP+ MM +MT = VIS MEJORA FINAL	**5B**	0,00%	0,00%	5,38%	11,35%	83,28%	**16,72%**	**7326,03**

4.5.3 Año 2050

Para el año 2050 se simulo la VIS con el mejoramiento final y se logró establecer que por el aumento de temperatura el porcentaje de confort se redujo en un 1.79% para el apartamento 1B, el 5.23% para el apartamento 3B y de 5.32% para el apartamento 5B; lo cual nos muestra que

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

para los apartamentos 3B y 5B las condiciones serían muy desfavorables, sin embargo, son similares con los resultados de año base; de igual manera la demanda de refrigeración disminuye aún más para el 1 piso mientras que para el 3 y 5 se logran valores similares a los del año base sin ninguna intervención como se ve en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados de simulación VIS totalmente mejorada 2050

MEJORAMIENTO DE VIS EN AÑO 2050								
Año	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**	**Demanda Refrigeración (kWh)**
VIS MEJORADA	1B	0,00%	0,00%	80,41%	17,33%	2,26%	97,74%	220,20
	3B	0,00%	0,00%	6,62%	12,92%	80,46%	19,54%	6671,64
	5B	0,00%	0,00%	2,57%	8,84%	88,60%	11,40%	8394,25

4.5.4 Año 2080

Para el año 2080 ya estarán implementadas todas las estrategias de las viviendas, sin embargo, se quiso establecer el aporte final en este año del escenario de cambio climático y evidentemente se ve una notable desmejora en los porcentajes de confort para los pisos 3 y 5 que alcanzan una reducción del confort del 50% en comparación a las condiciones del año base sin ninguna mejora , y en cuanto al piso 1, disminuye su confort respecto al 2050, sin embargo este es mucho mejor en comparación a los valores del año base sin mejoras, como se ve en los resultados de la tabla 18.

Tabla 18.Resultados de simulación VIS totalmente mejorada 2080

MEJORAMIENTO DE VIS EN AÑO 2080								
Año	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	**Confort Total**	**Demanda Refrigeración (kWh)**
VIS MEJORADA	1B	0,00%	0,00%	73,74%	21,45%	4,81%	95,19%	544,18
	3B	0,00%	0,00%	1,79%	6,61%	91,60%	8,40%	8870,89
	5B	0,00%	0,00%	0,66%	2,77%	96,56%	3,44%	10623,55

4.6 Análisis de resultados.

Según los resultados se hace un análisis individual de cada piso ya que tienen condiciones específicas y por tal motivo el resultado del desempeño final es diferente como se puede ver a continuación.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

4.6.1 Apartamento 1B

El apartamento 1B es el que tiene las condiciones más favorables, actualmente cuenta con un confort de 21,48% , se le aplican las dos estrategias de control solar (fase 1) y logra alcanzar un 75.37% de confort, condiciones adecuadas para los usuarios; para el año 2030 el apartamento se simula nuevamente y la afectación del nuevo clima disminuye considerablemente el confort dejándolo en un 5.43% , se parte de allí para aplicar las estrategias de la fase dos que son las estrategias de ventilación natural y en este caso de mejoramiento de muro , y se logra un 99,53% para el 2030 como resultado final de mejoramiento .

Para el año 2050 y 2080 se simula el resultado final de mejoramiento y se tienen resultados muy favorables de confort con un 97.74% y 95.19% respectivamente, y en cuanto a la demanda de refrigeración se disminuye entre el año base con mejoras y el 2080 un 90% al aplicar todas las mejoras, y entre el año 2080 sin mejoras con el 2080 con mejoras disminuye un 50% aproximadamente, como se puede ver en la tabla 19.

Tabla 19.Resultados de simulación Apartamento 1B

MEJORAS APARTAMENTO 1B						
Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	Confort Total	Demanda Refrigeración (kWh)
CASO BASE - AÑO BASE						
0,00%	0,00%	6,22%	15,26%	78,52%	**21,48%**	6272,01
CSI (Control solar interno)						
0,00%	0,00%	40,11%	22,24%	37,65%	**62,35%**	1450,79
CSE (Control solar externo) - Fin de la fase 1						
0,00%	0,00%	51,85%	23,52%	24,63%	**75,37%**	287,76
AÑO 2030						
0,00%	0,00%	0,38%	5,06%	94,57%	**5,43%**	9537,72
VNA (Ventilación Natural Apertura)						
0,00%	0,00%	2,95%	10,70%	86,36%	**13,64%**	5211,31
VNP (Ventilación Natural con Persianas)						
0,00%	0,00%	13,25%	14,17%	72,58%	**27,42%**	5023,24
MM (Materialidad Muro)						
0,00%	0,00%	92,81%	6,72%	0,47%	**99,53%**	122,63
AÑO 2050						
0,00%	0,00%	80,41%	17,33%	2,26%	**97,74%**	220,20
AÑO 2080						
0,00%	0,00%	73,74%	21,45%	4,81%	**95,19%**	544,18

Según los resultados obtenidos se sugiere que este apartamento se favorece por estar en contacto con el suelo y que en este caso el calor al interior es transferido al suelo mejorando

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

considerablemente las condiciones del apartamento, teniendo en cuenta que es la única característica diferente respecto a los pisos 3 y 5.

4.6.2 Apartamento 3B

El apartamento 3B tiene condiciones térmicas intermedias respecto a los 3 apartamentos de estudio, actualmente cuenta con un confort de 16,44% , se le aplican las dos estrategias de control solar (fase 1) y logra alcanzar un 72,59% de confort condiciones adecuadas para los usuarios; en el año 2030 el apartamento se simula nuevamente para establecer las condiciones en este año y se disminuye considerablemente el confort dejándolo en un 3,57% , se parte de allí para aplicar las estrategias de la fase dos que son las estrategias de ventilación natural y de mejoramiento de muro, y se logra un 24,21% para el 2030 como resultado final de mejoramiento, que no es un porcentaje óptimo para sus habitantes pero que aun así es superior a las condiciones actuales.

Para el año 2050 se simula nuevamente y a pesar de que baja el porcentaje de confort a un 24,21% se evidencia que está por encima del porcentaje del año base, y finalmente para el 2080 se determina que las condiciones son muy desfavorables pues el porcentaje de confort se reduce casi en un 50% respecto al año base.

En cuanto a la demanda de refrigeración se puede observar que existe una reducción considerable con las mejoras realizadas, ya que al comparar lo valores obtenidos con todas las mejoras en el año base con los del 2080 se evidencia un aumento apenas de 20%, y una reducción del 50% entre la proyección del año 2080 sin mejoras y el año 2080 con mejoras, como se puede ver en la tabla 20.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 20. Resultados de simulación Apartamento 3B

MEJORAS APARTAMENTO 3B						
Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	Confort Total	Demanda Refrigeración (kWh)
CASO BASE - AÑO BASE						
0,00%	0,00%	4,83%	11,61%	83,56%	**16,44%**	7298,55
CSI (Control solar interno)						
0,00%	0,00%	37,12%	22,74%	40,14%	**59,86%**	1538,41
CSE (Control solar externo) - Fin de la fase 1						
0,00%	0,00%	48,31%	24,28%	27,41%	**72,59%**	373,30
AÑO 2030						
0,00%	0,00%	0,31%	3,26%	96,43%	**3,57%**	10112,76
VNA (Ventilación Natural Apertura)						
0,00%	0,00%	1,91%	8,31%	89,78%	**10,22%**	5974,51
VNP (Ventilación Natural con Persianas)						
0,00%	0,00%	11,48%	13,29%	75,23%	**24,77%**	5641,25
MM (Materialidad Muro)						
0,00%	0,00%	10,96%	13,25%	75,79%	**24,21%**	5903,70
AÑO 2050						
0,00%	0,00%	6,62%	12,92%	80,46%	**19,54%**	6671,64
AÑO 2080						
0,00%	0,00%	1,79%	6,61%	91,60%	**8,40%**	8870,89

4.6.3 Apartamento 5B

El apartamento 5B tiene las condiciones más desfavorables entre los 3 apartamentos de estudio, actualmente cuenta con un confort de 15,01% , se le aplican las dos estrategias de control solar (fase 1) y logra alcanzar un 64.47% de confort condiciones adecuadas para los usuarios; para el año 2030 el apartamento se simula nuevamente para establecer las condiciones en este año y se disminuye considerablemente el confort dejándolo en un 3,12% , se parte de allí para aplicar las estrategias de la fase dos que son las estrategias de ventilación natural y de mejoramiento de muro y en este caso también de techumbre, y se logra un 16,72% para el 2030 como resultado final de mejoramiento, por encima del porcentaje del año base; para el año 2050 se simula nuevamente y se logra un porcentaje de 11,40%y para el 2080 su porcentaje disminuye considerablemente a un 11,40% como se ve en la tabla 21.

En cuanto a la demanda de refrigeración se observa que hay un aumento del 25% entre el año base sin mejoras y el 2080 con mejoras y una disminución del 45% entre el 2080 con mejoras y el 2080 sin mejoras.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 21.Resultados de simulación Apartamento 5B

MEJORAS APARTAMENTO 5B						
Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	Confort Total	Demanda Refrigeración (kWh)
CASO BASE - AÑO BASE						
0,00%	0,00%	5,01%	10,00%	84,99%	**15,01%**	8006,21
CSI (Control solar interno)						
0,00%	0,00%	33,05%	20,50%	46,45%	**53,55%**	1618,48
CSE (Control solar externo) - Fin de la fase 1						
0,00%	0,00%	43,36%	21,12%	35,53%	**64,47%**	885,58
AÑO 2030						
0,00%	0,00%	0,23%	2,89%	96,88%	**3,12%**	10383,11
VNA (Ventilación Natural Apertura)						
0,00%	0,00%	2,34%	7,63%	90,03%	**9,97%**	7649,57
VNP (Ventilación Natural con Persianas)						
0,00%	0,00%	4,86%	10,89%	84,25%	**15,75%**	7304,42
MM (Materialidad Muro)						
0,00%	0,00%	4,30%	10,61%	85,09%	**14,91%**	7340,22
MT (Materialidad Techumbre)						
0,00%	0,00%	5,38%	11,35%	83,28%	**16,72%**	**7326,03**
AÑO 2050						
0,00%	0,00%	2,57%	8,84%	88,60%	**11,40%**	8394,25
AÑO 2080						
0,00%	0,00%	0,66%	2,77%	96,56%	**3,44%**	10623,55

1.4.4 Edificio en general

Según el análisis individual de cada apartamento se logra establecer que el apartamento que presenta las peores condiciones es el ubicado en el 5 piso, ya que tiene un contacto directo con los rayos del sol, mientras que el 3 piso y el 1 piso van mejorando respectivamente como se puede ver en la tabla 22, sin embargo cabe destacar que el apartamento del 5 y 3 piso se comportan similarmente respecto a cada estrategia implementada, mientras que el del primer piso obtiene resultados completamente diferentes.

Respecto a los datos arrojados en cada año con mejoras y sin mejoras se logra visualizar que las estrategias logran un aporte significativo de aumento de confort y de reducción en la demanda de refrigeración.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Tabla 22. Resultados generales de VIS.

MEJORAMIENTO DE VIS - CAMBIO CLIMATICO									
Año	Descripcion	Apartamento	Cold	Slightly cool	Confort	Slightly warm	Hot	Confort Total	Demanda Refrigeración (kWh)
BASE	BASE SIN MEJORAS	1B	0,00%	0,00%	6,22%	15,26%	78,52%	21,48%	6272,01
		3B	0,00%	0,00%	4,83%	11,61%	83,56%	16,44%	7298,55
		5B	0,00%	0,00%	5,01%	10,00%	84,99%	15,01%	8006,21
	BASE + CSI	1B	0,00%	0,00%	40,11%	22,24%	37,65%	62,35%	1450,79
		3B	0,00%	0,00%	37,12%	22,74%	40,14%	59,86%	1538,41
		5B	0,00%	0,00%	33,05%	20,50%	46,45%	53,55%	1618,48
	BASE + CSI + CSE =VIS MEJORA FASE1	1B	0,00%	0,00%	51,85%	23,52%	24,63%	75,37%	287,76
		3B	0,00%	0,00%	48,31%	24,28%	27,41%	72,59%	373,30
		5B	0,00%	0,00%	43,36%	21,12%	35,53%	64,47%	885,58
2030	2030 VIS MEJORA FASE 1	1B	0,00%	0,00%	0,38%	5,06%	94,57%	5,43%	9537,72
		3B	0,00%	0,00%	0,31%	3,26%	96,43%	3,57%	10112,76
		5B	0,00%	0,00%	0,23%	2,89%	96,88%	3,12%	10383,11
	2030 + VNA	1B	0,00%	0,00%	2,95%	10,70%	86,36%	13,64%	5211,31
		3B	0,00%	0,00%	1,91%	8,31%	89,78%	10,22%	5974,51
		5B	0,00%	0,00%	2,34%	7,63%	90,03%	9,97%	7649,57
	2030 + VNA+ VNP	1B	0,00%	0,00%	13,25%	14,17%	72,58%	27,42%	5023,24
		3B	0,00%	0,00%	11,48%	13,29%	75,23%	24,77%	5641,25
		5B	0,00%	0,00%	4,86%	10,89%	84,25%	15,75%	7304,42
	2030 + VNA+ VNP+ MM	1B	0,00%	0,00%	92,81%	6,72%	0,47%	99,53%	122,63
		3B	0,00%	0,00%	10,96%	13,25%	75,79%	24,21%	5903,70
		5B	0,00%	0,00%	4,30%	10,61%	85,09%	14,91%	7340,22
	2030 + VNA+ VNP+ MM + MT = VIS MEJORA FINAL	5B	0,00%	0,00%	5,38%	11,35%	83,28%	16,72%	7326,03
	2030 VIS SIN MEJORAS	1B	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%	99,83%	0,17%	11359,13
		3B	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	99,94%	0,06%	13554,51
		5B	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	99,93%	0,07%	15484,60
2050	2050 VIS MEJORADA	1B	0,00%	0,00%	80,41%	17,33%	2,26%	97,74%	220,20
		3B	0,00%	0,00%	6,62%	12,92%	80,46%	19,54%	6671,64
		5B	0,00%	0,00%	2,57%	8,84%	88,60%	11,40%	8394,25
	2050 VIS SIN MEJORAS	1B	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	99,97%	0,03%	12474,48
		3B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	14568,50
		5B	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	99,95%	0,05%	16633,99
2080	2080 VIS MEJORADA	1B	0,00%	0,00%	73,74%	21,45%	4,81%	95,19%	544,18
		3B	0,00%	0,00%	1,79%	6,61%	91,60%	8,40%	8870,89
		5B	0,00%	0,00%	0,66%	2,77%	96,56%	3,44%	10623,55
	2080 VIS SIN MEJORAS	1B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	13770,48
		3B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	16774,87
		5B	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	19116,20

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Conclusiones

La VIS presenta sin lugar a duda una notoria disminución del CT para los años 2030,2050 y 2080 que no alcanza 1% del rango de confort esperado (18.82 - 29.15°C). Esta situación hace prever que las estrategias ante el CC debiesen implementarse a corto plazo.

Bajo la premisa observada en investigaciones sobre los efectos inversos que tendrá el aumento de aislación térmica al generar sobre calentamiento con la elevación de la temperatura por el CC este estudio afirma que en climas cálidos este tipo de mejora no aporto mejoría en el CT y en algunos casos lo disminuyo, por lo cual se debe de tener especial cuidado en los climas con oscilaciones de temperatura amplios específicamente por cambios de estaciones.

Sin embargo, la aislación térmica por MM genero los mejores resultados en el primer piso, lo que da cuenta que el suelo sobre el que se encuentra en contacto juega un papel importante en la reducción del calor por transferencia y disipación.

Además de esto es muy importante recalcar que este caso es el más desfavorable, teniendo en cuenta que la única fachada ventilada se encuentra expuesta al oriente generando grandes ganancias térmicas por lo que se podrían alcanzar mayores de CT si se prioriza en orientar la mayor proporción de fachada sobre el norte o sur, disminuyendo las ganancias térmicas.

Asimismo, procurar que los futuros apartamentos puedan tener una ventilación cruzada mejoraría considerablemente las condiciones térmicas pues observamos que la ventilación natural juega un papel importante en el CT, inclusive desde el inicio del análisis cuando se escogió el cado de estudio se evidencio que los apartamentos esquineros presentaban mejor CT.

El sector residencial especialmente en clima cálido-húmedo en Colombia, deberá aplicar estrategias pasivas teniendo en cuenta que la elevación de la temperatura aumentará significativamente la DE, que representa ya el primer puesto en el consumo energético en Colombia.

Desde el punto de vista arquitectónico, se observan diferencias importantes respecto a la ubicación de los apartamentos según el piso, a medida que aumentan disminuyen las condiciones

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

de CT, lo que implica que se realice una intervención específica para cada uno, así mismo cada estrategia genera un resultado diferente en cada uno de ellos.

Futuras investigaciones

Sería de gran importancia estudiar a fondo las condiciones de suelo mediante estudios geotérmicos, ya que según los resultados del 1 piso, este puede ser un gran aliado para disminuir las temperaturas al interior de la vivienda; de igual manera hacer una evaluación exhaustiva de la envolvente teniendo en cuenta que el resultado del apartamento esquinero quien tenía mayor contacto con el exterior presento mejores condiciones térmicas y que al establecer una aislación mayor en el muro disminuyo el confort , esto nos da un indicio de que las fachadas ventiladas podrían mejorar las condiciones térmicas de la vivienda.

Según la investigación surge la inquietud de establecer que tan aproximados son los resultados obtenidos mediante simulaciones, por lo tanto, sería muy interesante realizar un estudio exhaustivo año a año sobre una vivienda construida para monitorear que tan acertados son los resultados in situ frente a los simulados.

Sería interesante hacer un estudio posterior para incluir sistemas de generación de electricidad como paneles solares ya que podrían ser importantes para la generación eléctrica de los equipos de refrigeración que se requerirán a partir del 2030 para seguir contribuyendo en la no generación de GEI y a la reducción de los costos para los habitantes de la VIS.

A pesar de que el estudio contempla un análisis en un clima húmedo no se evaluó la humedad de una manera detallada, el análisis de esto podrá establecer un mejor panorama para determinar detalladamente el comportamiento climático.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Referencias bibliográficas

CARRAZCO, C.. M., 2004. Adecuación bioclimática de la vivienda de interés social del noroeste de México con base al análisis térmico de la arquitectura vernácula. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 8, pp. 97-102.

DINO, I.G. y MERAL AKGÜL, C., 2019. Impact of climate change on the existing residential building stock in Turkey: An analysis on energy use, greenhouse gas emissions and occupant comfort. *Renewable Energy*, pp. 828-846. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2019.03.150.

ELEINAI, F. y LUNA, V., 2020. Análisis y prueba de dispositivos de control solar para obtener confort térmico en el edificio ubicado en la calle huerto de framboyanes esquina avenida universidad . , pp. 1-19.

ESCANDÓN, R., SUÁREZ, R. y SENDRA, J.J., 2019. Field assessment of thermal comfort conditions and energy performance of social housing: The case of hot summers in the Mediterranean climate. *Energy Policy*, vol. 128, pp. 377-392. ISSN 0301-4215. DOI 10.1016/J.ENPOL.2019.01.009.

FAZELI, R., DAVIDSDOTTIR, B. y HALLGRIMSSON, J.H., 2016. CLIMATE IMPACT ON ENERGY DEMAND FOR SPACE HEATING IN ICELAND. *Climate Change Economics*, vol. 07, no. 02, pp. 1650004. ISSN 2010-0078. DOI 10.1142/s2010007816500044.

FERRARI, S. y ZANOTTO, V., 2012. Adaptive comfort: Analysis and application of the main indices. *Building and Environment*, vol. 49, no. 1, pp. 25-32. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2011.08.022.

GARCÍA, R., 2014. Pobreza energética en América Latina. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, pp. 36.

HASHEMI, A. y KHATAMI, N., 2017. Effects of Solar Shading on Thermal Comfort in Low-income Tropical Housing. *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 235-244. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2017.03.025.

HAYLES, C.S. y DEAN, M., 2015. Social housing tenants, Climate Change and sustainable living: A

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

study of awareness, behaviours and willingness to adapt. *Sustainable Cities and Society*, vol. 17, pp. 35-45. ISSN 22106707. DOI 10.1016/j.scs.2015.03.007.

IUCMC, P.D.E.A., 2012. La REVISTA ARCUS Arquitectura, Construcción y Urbanismo Sostenibles, tiene su origen en las actividades académicas del grupo de investigación de la Facultad de Arte y Diseño de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Se encamina a al constru. *Aruitectura Y Urbanismo Sostenibles*, vol. 2, pp. 10.

MICHAEL, A., DEMOSTHENOUS, D. y PHILOKYPROU, M., 2017. Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus. *Energy and Buildings*, vol. 144, pp. 333-345. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.03.040.

MISHRA, A.K. y RAMGOPAL, M., 2015. An adaptive thermal comfort model for the tropical climatic regions of India (Köppen climate type A). *Building and Environment*, vol. 85, pp. 134-143. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2014.12.006.

PLATA SALVETTI, E. LA, BELÉN, M. y FERNANDA, A., 2009. *Analisis Del Comportamiento Energetico-Ambiental En Torre De Viviendas En La Plata.* 2009. S.l.: s.n.

PRIETO, A., KNAACK, U., AUER, T. y KLEIN, T., 2018. Passive cooling & climate responsive façade design exploring the limits of passive cooling strategies to improve the performance of commercial buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, vol. 175, pp. 30-47. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2018.06.016.

REN, Z., CHEN, Z. y WANG, X., 2011. Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings. *Building and Environment*, vol. 46, no. 11, pp. 2398-2412. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2011.05.022.

RODERS, M. y STRAUB, A., 2015. Assessment of the likelihood of implementation strategies for climate change adaptation measures in Dutch social housing. *Building and Environment*, vol. 83, pp. 168-176. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2014.07.014.

RUBIO-BELLIDO, C., PÉREZ-FARGALLO, A., PULIDO-ARCAS, J.A., 2017. Postulado sobre la adaptación del confort en el parque residencial de Chile bajo los efectos climáticos. *Building Simulation*, vol. 10, no. 6, pp. 933–947.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

TOE, D.H.C. y KUBOTA, T., 2015. Comparative assessment of vernacular passive cooling techniques for improving indoor thermal comfort of modern terraced houses in hot-humid climate of Malaysia. *Solar Energy*, vol. 114, pp. 229-258. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2015.01.035.

TUCK, N.W., ZAKI, S.A., HAGISHIMA, A., RIJAL, H.B., ZAKARIA, M.A. y YAKUB, F., 2019. Effectiveness of free running passive cooling strategies for indoor thermal environments: Example from a two-storey corner terrace house in Malaysia. *Building and Environment*, vol. 160, no. April, pp. 106214. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2019.106214.

XU, P., HUANG, Y.J., MILLER, N., SCHLEGEL, N. y SHEN, P., 2012. Impacts of climate change on building heating and cooling energy patterns in California. *Energy*, vol. 44, no. 1, pp. 792-804. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2012.05.013.

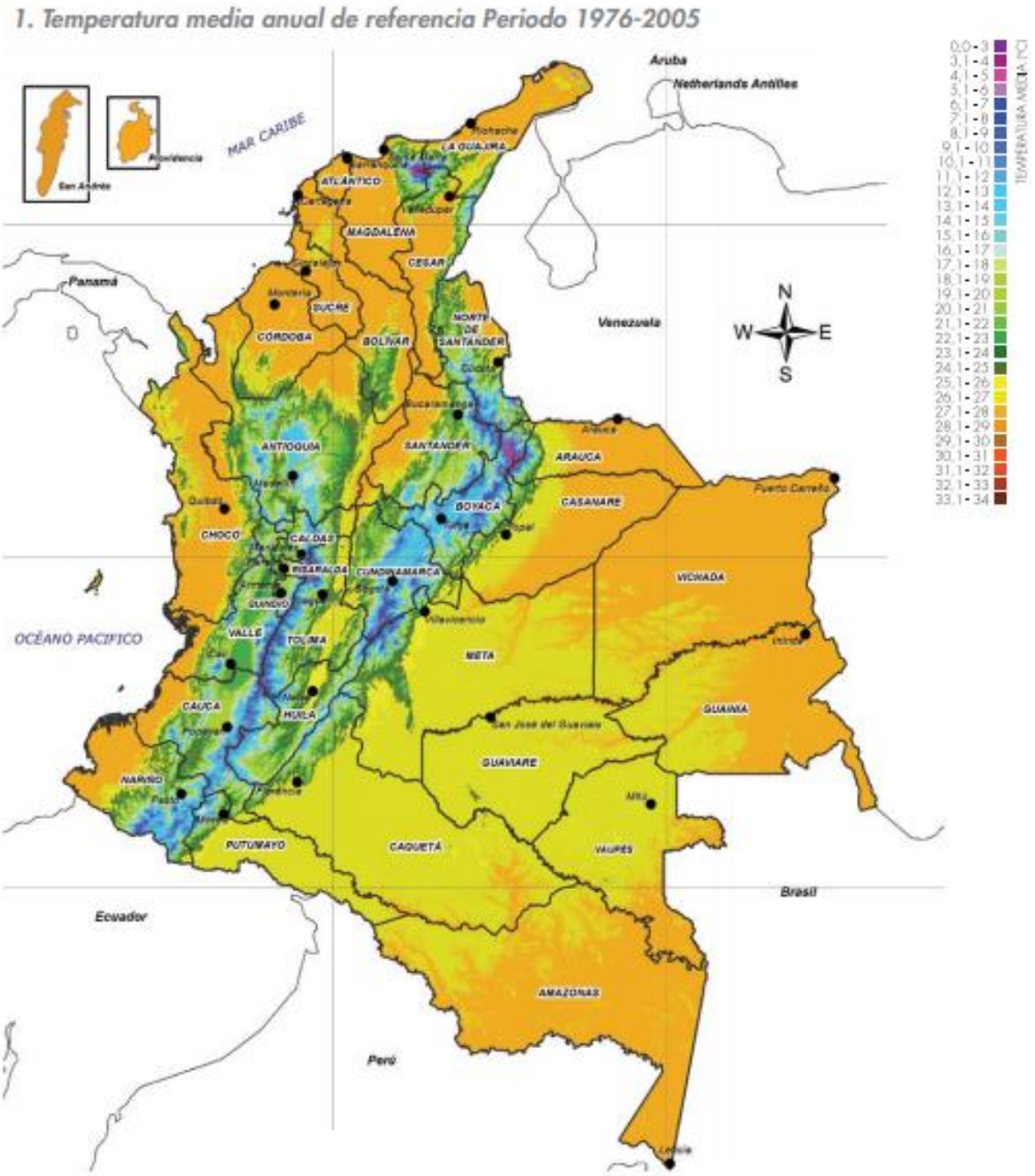
Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo A

Cambio climático en Colombia

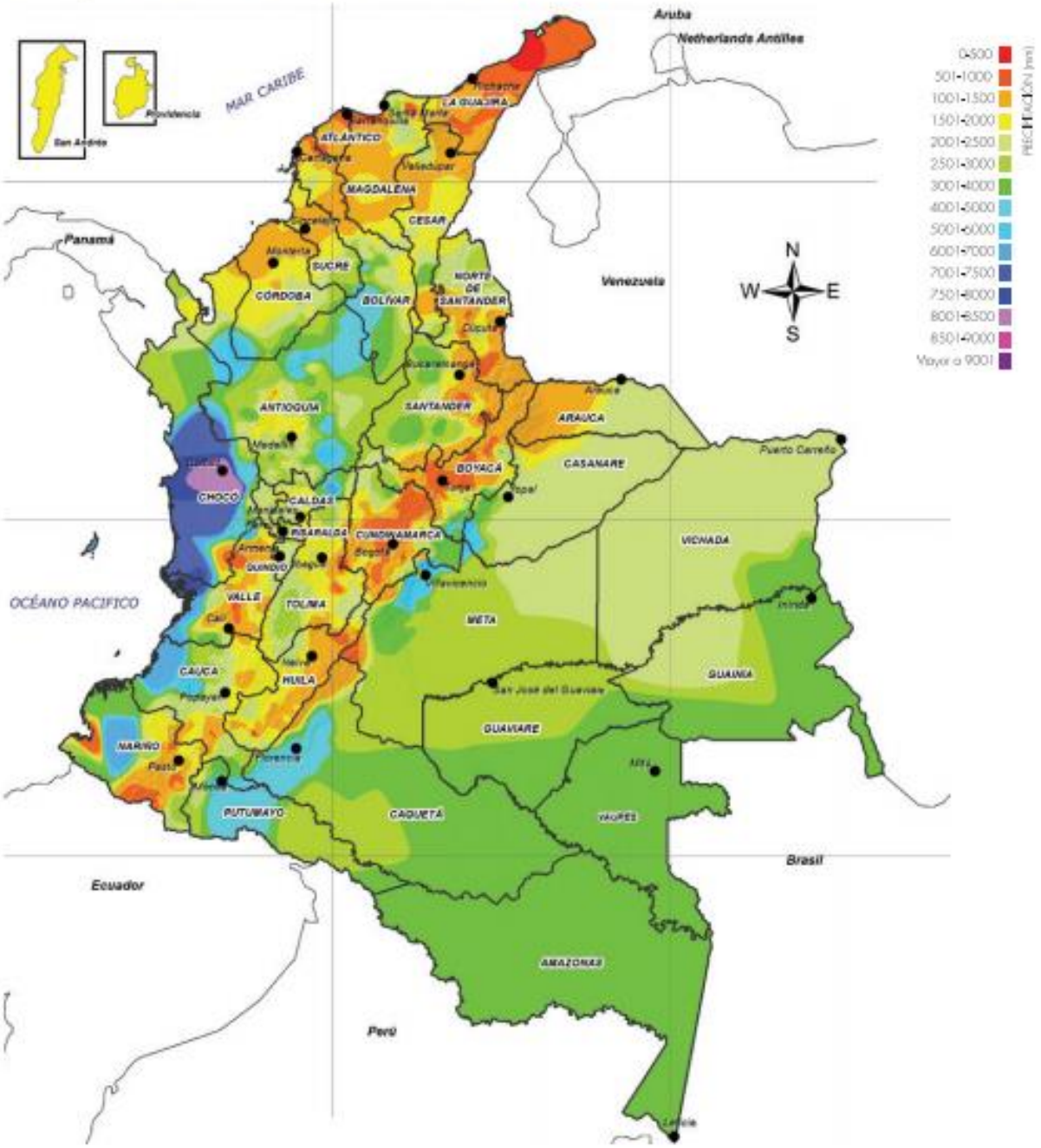
Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

8. Precipitación media anual de referencia Periodo 1976-200



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

FICHA DEPARTAMENTAL

TOLIMA

DESCRIPTOR DEPARTAMENTO

Área	Población Urbana	Población Rural	PIB	Especies Biológicas Registradas
23.562 Km2	1'745.931 habitantes	450.146 Habitantes	2,20%	3.802

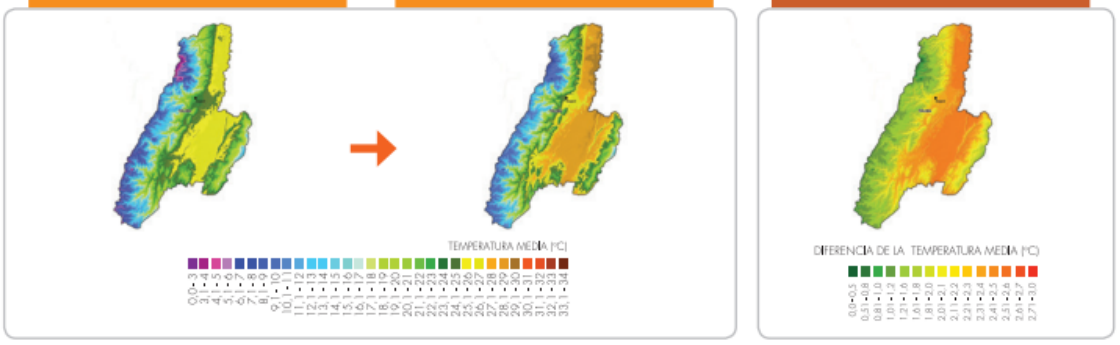
Participación porcentual departamental del valor agregado, por grandes ramas de actividad económica

Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	Explotación de minas y canteras	Industria manufacturera	Electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	Transporte, almacenamiento y comunicaciones	Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	Actividades de servicios sociales, comunales y personales
4,8	2,1	1,6	1,8	2,7	2,1	2,3	1,3	2,8

MAPAS DEPARTAMENTALES/ ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100

TEMPERATURA

TEMPERATURA PROMEDIO DE REFERENCIA 1976-2005 (°C) | ESCENARIO ENSAMBLE PROMEDIO 2071-2100 (°C) | DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN °C ENTRE EL ESCENARIO 2071 - 2100 CON RESPECTO A LA TEMPERATURA PROMEDIO DE REFERENCIA 1976-2005



PRECIPITACIÓN

PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE REFERENCIA 1976-2005 (%) | ESCENARIO ENSAMBLE PROMEDIO 2071-2100 (%) | DIFERENCIA DE PRECIPITACIÓN EN % ENTRE EL ESCENARIO 2071-2100 CON RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE REFERENCIA 1976-2005

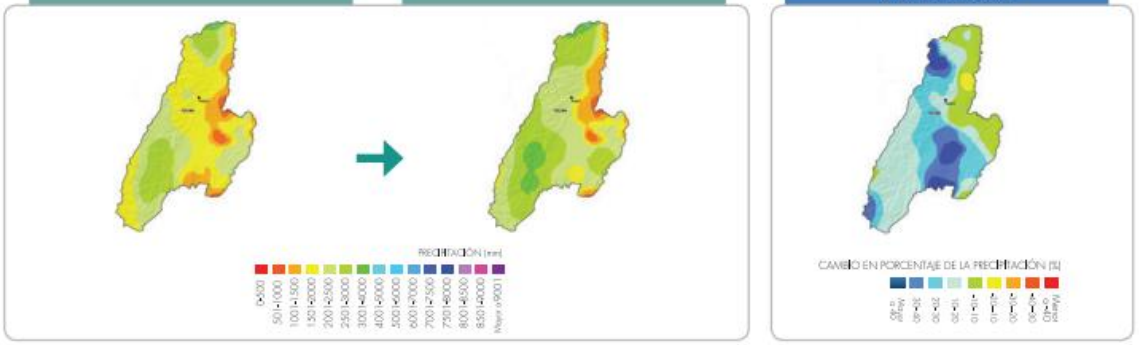


Tabla convención Temperatura

Cambio	Rango de Valores Temperatura
Bajo	0 - 0,5
Bajo Medio	0,51 - 1
Media	1,1 - 1,5
Media Alta	1,5 - 2
Alto	2,1 - 3,9

TABLA POR PERIODOS / ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100

2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)
0,9	10,54	1,6	13,11	2,3	17,24

Tabla convención Precipitación

Cambio	%
Déficit Severo	<-40%
Déficit	-39% y 11%
Normal	-10% y 10%
Exceso	11%y 39%
Exceso Severo	>40%

PRINCIPALES AUMENTOS DE TEMPERATURA

Para el fin de siglo el Departamento podrá elevar la temperatura en 2,3°C adicionales al valor de referencia. Los principales aumentos de temperatura podrán presentarse en el centro oriente del departamento.

PRINCIPALES AUMENTOS DE PRECIPITACIÓN

En general Tolima presentará aumentos de precipitación de hasta un 17%. En particular las Provincias de Suroriente, Ibagué y Nevados podrán presentar los mayores aumentos entre 30% y 40%.

PRINCIPALES DISMINUCIONES DE PRECIPITACIÓN

En general el Departamento no presentará disminuciones de precipitación según los escenarios modelados.

PRINCIPALES EFECTOS

Los principales efectos pueden verse representados en el sector ganadero debido a los aumentos graduales de temperatura particularmente en las áreas bajas del Departamento. El sector agrícola podrá verse afectado debido a los aumentos de precipitación y el posible aumento de plagas y enfermedades asociadas. Los ecosistemas de alta montaña podrán verse afectados por los cambios acelerados de temperatura, así como en la disminución de volumen para coberturas nivales.

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo B

Clasificación de clima según Koppen en Colombia.

La clasificación se hace mediante cinco zonas climáticas, los cuales se representan por letras en mayúsculas A, B, C, D, E y H.

Los climas **TIPO A** - Tropical o mega termal, corresponden a las zonas en las cuales todos los meses tienen temperaturas superiores a los 18 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación.

Dentro de este grupo se diferencian los siguientes climas:

- Sin estación seca (Af): todos los meses superan los 60 mm
- Estaciones secas cortas (Am): con algún mes por debajo de los 60 mm y la precipitación del mes más seco es superior a la expresión (100 – (Panual/25))
- Estaciones secas en invierno (Aw) con algún mes por debajo de los 60 mm y la precipitación del mes más seco es inferior a la expresión (100 – (Panual/25))
- Estación seca en veraño (As): con algún mes por debajo de los 60 mm y la precipitación del mes más seco es inferior a la expresión (100 – (Panual/25))

En los climas **TIPO B** – secos, el principal factor que controla la vegetación no es la temperatura, sino la sequedad. Aquí la aridez no solamente se relaciona con las precipitaciones, sino también con las pérdidas de agua del suelo por evaporación.

Estos climas se dividen en climas áridos (Bw) y climas semiáridos (Bs), y se utiliza una tercera letra para indicar si es un clima cálido (h) o frío (k)

Los climas **TIPO C** – templado o meso termal, es aquel en el cual el mes más frío tiene una temperatura menor de 18°C y superior a -3°C y la del mes más cálido es superior a los 10°C.

Así mismo tiene subtipos: con precipitaciones constantes durante el año (Cf), con invierno seco (Cw), con verano seco (Cs).

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Los climas **TIPO D** – Templado frío o micro termal registran durante el mes más frío temperaturas menores a los -3°C y la del mes más cálido es superior a los 10 °C. Al igual que en los climas C, existen los subtipos Df, Dw y Ds.

En los tipos de clima C y D, se agrega una tercera letra (a, b, c o d) que indica cuán cálido es el verano o cuán frío es el invierno. Los climas tipo E abarcan las regiones más frías de la tierra, y se subdividen en **CLIMAS DE TUNDRA (ET)** y **CLIMAS DE NIEVE/HIELO (EF).**

Finalmente, la letra H se asigna a los **CLIMAS DE MONTAÑA.**

Teniendo en cuenta esta clasificación, el municipio de Melgar (Tolima), se encuentra catalogado dentro del grupo de Climas Tipo A: tropical, específicamente en el Tropical lluvioso de sabana con verano, como se señala en la tabla 2.

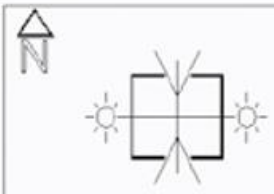
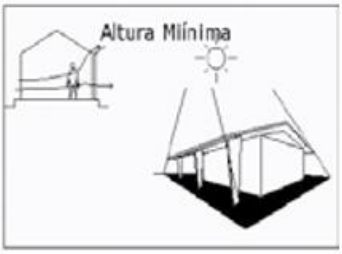
Tabla 23. Clasificación del clima en Colombia según Koppen

Climas tipo A: Tropical	Tropical lluvioso de selva (ecuatorial)	Af. Centro y norte de la Amazonia; Región Pacífica; sectores del medio Magdalena en oriente de Antioquia y occidente de Santander, Boyacá y Cundinamarca; zona del Catatumbo; piedemonte amazónico.
	Tropical lluvioso de bosque (monzónico)	Am. Piedemonte llanero; extremos sur de la región Caribe.
	Tropical lluvioso de sabana con invierno seco	Aw. La mayor parte de la región Caribe y de la Orinoquia; sectores bajos en santanderes y Antioquia.
	Tropical lluvioso de sabana con verano seco -	As. Valles interandinos en Tolima, Huila, Valle, Cauca y Nariño.
Climas tipo B: Seco	Seco árido muy caliente (desértico)	Bw. Alta Guajira.
	Seco semiárido muy caliente (estepario)	Bs. Media y baja Guajira y sectores del litoral Caribe
	Los climas k (árido frío y semiárido frío), no se identificaron en las estaciones	
Climas tipo C: Templado mesotermal	Mesotermal con invierno seco y templado	Cwb. Niveles medios de las tres cordilleras en Cundinamarca, Boyacá y Santanderes.
	Mesotermal con verano seco y templado	Csb. Niveles medios de las tres cordilleras en Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Valle, Cauca y Nariño.
	Mesotermal con verano seco y frío	Csc. Sectores aislados en niveles altos de la cordillera oriental
	Mesotermal templado sin estación seca	Cfb. Niveles medios de las tres cordilleras en Santanderes, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Cauca y Nariño.
	Mesotermal frío sin estación seca	Cfc. Sectores aislados en los niveles altos de la cordillera oriental.
Climas tipo D: Templado microtermal	No se identificaron en las estaciones procesadas	
Climas tipo H: Frío de alta montaña.	Niveles altos de las tres cordilleras.	

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo C

Ficha de determinantes para el diseño arquitectónico de la guía 1 de calidad de la VIS

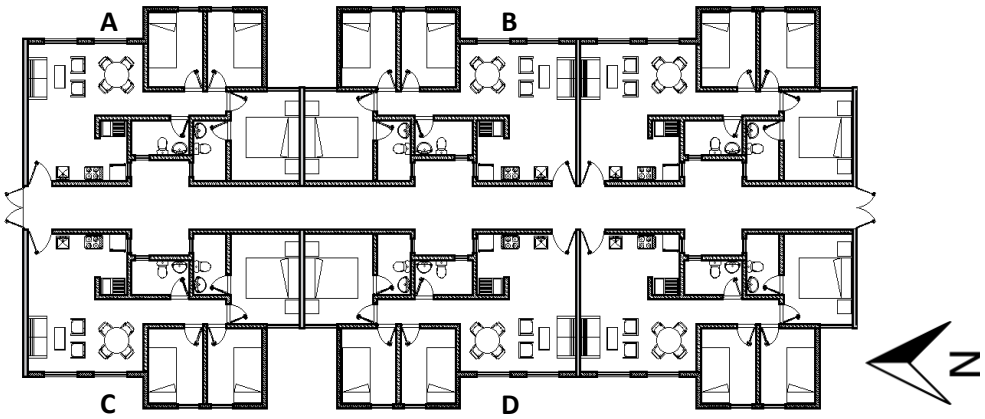
CLIMA CÁLIDO HUMEDO		
IMPLANTACIÓN EDIFICACIÓN	La implantación debe tener en cuenta proteger la radiación solar directa, utilizando toda estrategia de diseño. Al tener la menor de las superficies orientada al E-O la vivienda capta menor energía solar evitando el calentamiento de la misma. Las viviendas se deben construir separadas para no producir barreras entre ellas, así la circulación del aire será constante al interior de las mismas.	
VENTILACIÓN	• Las viviendas poco profundas con fachadas abiertas al viento permiten que la ventilación sea permanente y cruzada, evacuando el calor del interior. • Cuando la velocidad del viento es escasa se debe ventilar por diferencias de presiones, utilizando el efecto chimenea, a nivel de la cubierta	
PROTECCIÓN DIM. VENTANAS ORIENTACIÓN	• Dispositivos como la cubierta, aleros, celosías, vegetación, reducen calor y la entrada de lluvia al interior de la vivienda. • La dimensión de las ventanas permite tener buena ventilación constante. • Vanos orientados N-S están menos exp. al sol, evitando que penetre a la edificación.	Vanos grandes 40% a 80% de la superficie en fachadas norte - sur
MUROS PLACAS CUBIERTAS	En los muros y placas se recomiendan materiales que retarden la transmisión de calor. Contrucciones ligeras con poca inercia térmica.	
ESQUEMA DE VENTILACIÓN	Vivienda con orientación simple, dispuesta para que permita una circulación de aire permanente. Altura mínima: 2.7 m Volumen aire x persona: 12 M3	

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

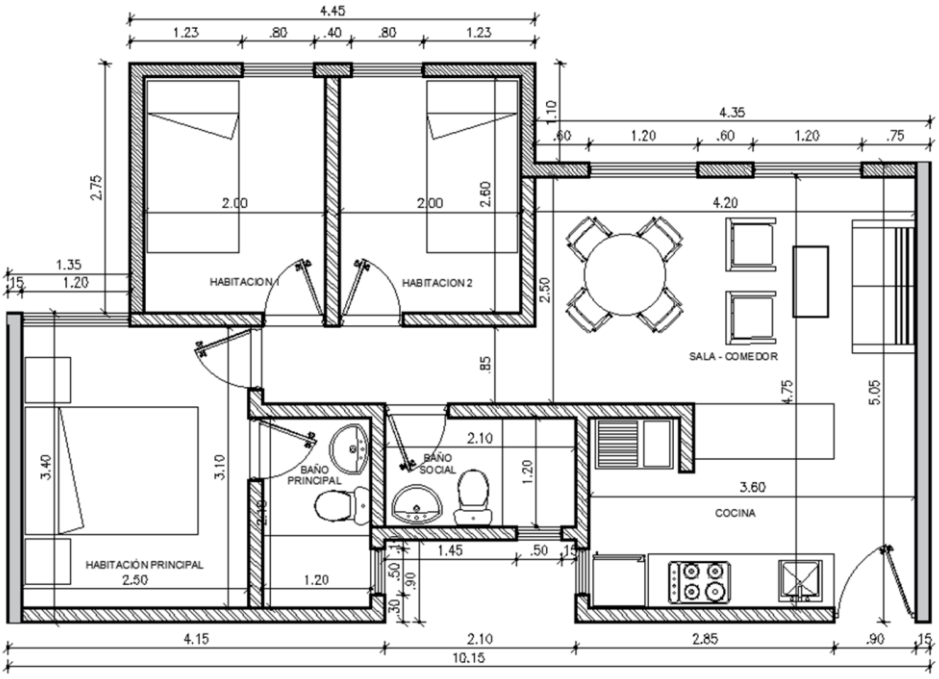
Anexo D

Vivienda de interés social – Caso de estudio

- Plano General del bloque

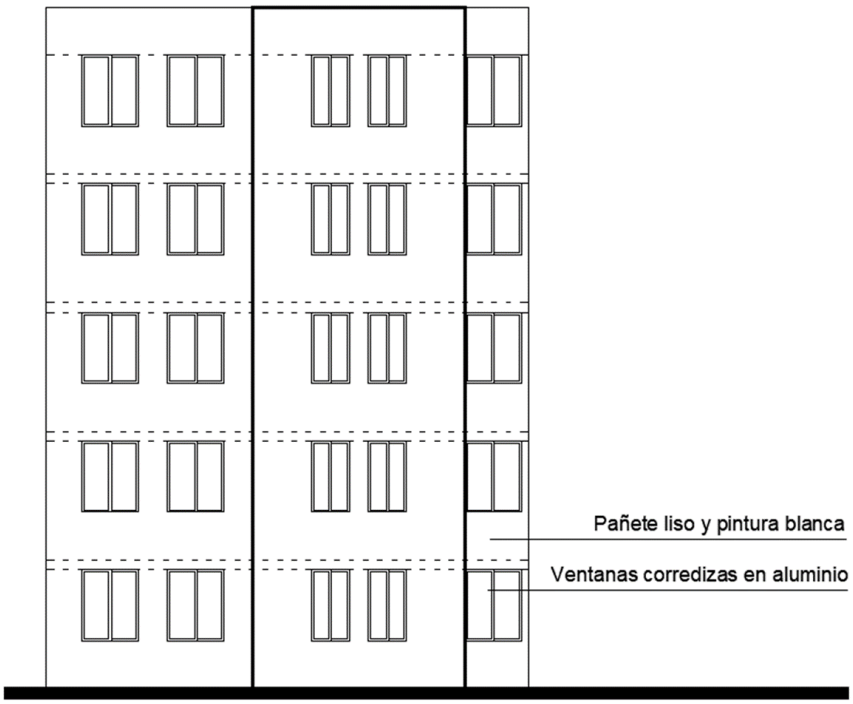


- Apartamento de estudio (B)



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

- Fachada Oriental torre B – Caso de estudio



Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

Anexo E

Demanda energética detallada por piso – estrategia y año

AÑO BASE			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	1042,00	1201,46	1296,97
Sala, comedor y cocina	2271,09	2630,27	2877,53
Baño social	598,02	768,45	795,79
Habitación 1	935,05	1005,79	1161,06
Baño principal	548,01	690,99	770,00
Habitación principal	877,84	1001,59	1104,86
Total	**6272,01**	**7298,55**	**8006,21**

AÑO 2030			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	1674,79	1831,63	1950,12
Sala, comedor y cocina	4482,73	5591,61	6586,00
Baño social	844,82	942,32	1144,46
Habitación 1	1746,29	1908,97	2013,98
Baño principal	816,98	922,90	1077,53
Habitación principal	1793,52	2357,08	2712,51
Total	**11359,13**	**13554,51**	**15484,60**

AÑO 2050			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	1766,84	1939,74	2069,03
Sala, comedor y cocina	4801,67	6040,73	7131,63
Baño social	896,61	1000,92	1206,42
Habitación 1	1862,33	2044,40	2158,94
Baño principal	1910,15	985,50	1141,80
Habitación principal	1236,88	2557,21	2926,09
Total	**12474,48**	**14568,50**	**16633,91**

AÑO 2080			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	1970,14	2175,57	2328,19
Sala, comedor y cocina	5516,03	7023,53	8305,14
Baño social	1004,47	1125,14	1343,49
Habitación 1	2119,61	2339,48	2470,98
Baño principal	980,97	1115,24	1279,36
Habitación principal	2179,26	2995,91	3389,04
Total	**13770,48**	**16774,87**	**19116,20**

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

CONTROL SOLAR INTERNO			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	329,45	343,98	415,35
Sala, comedor y cocina	353,15	369,56	434,78
Baño social	170,83	180,86	205,11
Habitación 1	275,00	294,69	242,07
Baño principal	145,92	163,25	112,82
Habitación principal	176,44	186,07	208,35
Total	**1450,79**	**1538,41**	**1618,48**

CONTROL SOLAR EXTERNO			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	99,56	124,08	172,15
Sala, comedor y cocina	87,34	129,23	342,85
Baño social	34,34	42,10	101,05
Habitación 1	79,56	83,01	127,69
Baño principal	26,28	32,05	79,25
Habitación principal	29,63	37,65	101,12
Total	**356,71**	**448,12**	**924,11**

VENTILACION NATURAL APERTURA 90%			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	92,25	111,04	159,09
Sala, comedor y cocina	78,42	117,45	328,63
Baño social	28,35	38,81	94,67
Habitación 1	68,42	73,95	117,12
Baño principal	15,23	21,76	65,97
Habitación principal	19,68	24,45	91,89
Total	**302,35**	**387,46**	**857,37**

VENTILACION NATURAL PERSIANA			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	80,56	83,19	165,06
Sala, comedor y cocina	61,35	70,22	332,29
Baño social	17,41	22,36	95,03
Habitación 1	60,29	62,14	119,23
Baño principal	7,21	9,72	66,55
Habitación principal	8,45	10,10	92,07
Total	**235,27**	**257,73**	**870,23**

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

MEJORA DE MUROS			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	20,65	1283,12	1284,24
Sala, comedor y cocina	21,45	3515,04	3517,45
Baño social	3,45	687,21	689,78
Habitación 1	60,32	1354,25	1353,95
Baño principal	3,74	652,14	651,97
Habitación principal	4,10	1432,14	1431,93
Total	**113,71**	**8923,90**	**8929,32**

MEJORA DE TECHUMBRE			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	NO APLICA		1293,50
Sala, comedor y cocina			2875,82
Baño social			794,96
Habitación 1			1160,56
Baño principal			769,81
Habitación principal			1104,69
Total			**7999,34**

AÑO BASE CSI + CSE			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	89,76	104,06	168,17
Sala, comedor y cocina	75,38	114,03	338,36
Baño social	26,64	38,22	99,30
Habitación 1	67,48	73,03	117,25
Baño principal	13,32	20,10	68,37
Habitación principal	15,18	23,86	94,13
Total	**287,76**	**373,30**	**885,58**

AÑO 2030 CSI + CSE			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	1518,44	1577,47	1617,15
Sala, comedor y cocina	2750,37	3436,90	3503,63
Baño social	1137,03	1176,55	1228,01
Habitación 1	1547,79	1563,79	1622,43
Baño principal	1103,54	1166,09	1185,44
Habitación principal	1480,55	1191,96	1226,45
Total	**9537,72**	**10112,76**	**10383,11**

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

AÑO 2030 - FASE 1 + VNA			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	802,36	881,95	1042,15
Sala, comedor y cocina	2001,82	2369,94	3184,49
Baño social	450,38	513,27	634,37
Habitación 1	826,17	900,06	1044,01
Baño principal	399,44	449,81	555,05
Habitación principal	731,14	859,48	1189,50
Total	**5211,31**	**5974,51**	**7649,57**

AÑO 2030 - FASE 1 + VNA + VNP			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	769,59	847,84	986,68
Sala, comedor y cocina	1929,38	2198,22	3018,76
Baño social	423,45	466,27	632,08
Habitación 1	799,03	852,52	988,66
Baño principal	386,60	420,85	562,33
Habitación principal	715,19	855,55	1115,91
Total	**5023,24**	**5641,25**	**7304,42**

AÑO 2030 - FASE 1 + VNA + VNP + MM			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	21,82	894,33	986,55
Sala, comedor y cocina	22,62	2287,90	3093,82
Baño social	5,17	479,59	618,52
Habitación 1	62,71	913,55	974,15
Baño principal	4,80	437,96	532,97
Habitación principal	5,51	890,37	1134,21
Total	**122,63**	**5903,70**	**7340,22**

AÑO 2030 - FASE 1 + VNA + VNP + MM + MT			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	NO APLICA		1000,56
Sala, comedor y cocina			3035,94
Baño social			614,32
Habitación 1			1005,74
Baño principal			536,51
Habitación principal			1132,96
Total	**0,00**	**0,00**	**7326,03**

Universidad del Bío-Bío. Sistema de Bibliotecas - Chile

AÑO 2050 - FASE 1 + VNA + VNP + MM			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	40,72	981,35	1117,36
Sala, comedor y cocina	46,49	2615,54	3535,04
Baño social	11,06	542,62	689,22
Habitación 1	99,95	1002,58	1124,54
Baño principal	10,95	496,66	613,93
Habitación principal	11,03	1032,89	1322,39
Total	**220,20**	**6671,64**	**8402,48**

AÑO 2050 - FASE 1 + VNA + VNP + MM + MT			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	NO APLICA		1133,32
Sala, comedor y cocina			3476,24
Baño social			687,29
Habitación 1			1158,68
Baño principal			617,05
Habitación principal			1321,67
Total	**0,00**	**0,00**	**8394,25**

AÑO 2080 - FASE 1 + VNA + VNP + MM			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	90,44	1261,59	1401,49
Sala, comedor y cocina	143,50	3516,81	4438,70
Baño social	36,64	678,05	817,13
Habitación 1	196,75	1333,87	1453,09
Baño principal	37,09	651,21	778,33
Habitación principal	39,76	1429,36	1734,81
Total	**544,18**	**8870,89**	**10623,55**

AÑO 2080 - FASE 1 + VNA + VNP + MM + MT			
Zona/Apto.	**1B**	**3B**	**5B**
Habitación 2	NO APLICA		1420,71
Sala, comedor y cocina			4385,14
Baño social			822,36
Habitación 1			1496,64
Baño principal			784,73
Habitación principal			1736,38
Total	**0,00**	**0,00**	**10645,96**