



FACULTAD de  
ARQUITECTURA  
CONSTRUCCIÓN  
y DISEÑO  
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

Tesis para optar al grado de  
Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética

# Impacto del confinamiento por Covid-19 en los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> al interior de la vivienda de tipo social en Chile

Nombre tesista:

Marzo, 2022

**Roxana Guíñez Viveros**

**Prof Guía:** Doctor Sr. Ariel Bobadilla Moreno

**Prof Co-Guía:** Magister Sr. Cristián Muñoz Viveros



MAGÍSTER EN  
HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**5 Años**

Qualitas  
**PROGRAMA ACREDITADO**

Desde el 07 de diciembre de 2017  
Hasta el 07 de diciembre de 2022

SEDE: Concepción MODALIDAD: Presencial

## Resumen

### Resumen

Chile se encuentra en la búsqueda de generar viviendas sustentables, confortables y herméticas, que otorguen condiciones de habitabilidad óptimas para sus usuarios, sin embargo, producto del Covid-19, la mayor permanencia al interior del hogar dejó de manifiesto la precariedad en los modos de vida que enfrentan las familias más vulnerables; exponiéndose en ocasiones a ambientes riesgosos para su salud.

Esta investigación tuvo por objetivo estimar el impacto del Covid-19 en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el aire interior, producto de la intensidad de uso (ocupación) de la vivienda; considerando envolventes con distintos niveles de hermeticidad.

Mediante metodología experimental, basada en simulaciones con el software DesignBuilder, se cuantificaron las concentraciones de CO<sub>2</sub> de cuatro tipos de viviendas de carácter social, emplazadas en la comuna de Coronel, región del Biobío, Chile. Los resultados arrojaron que el confinamiento elevó en un 16,4% los niveles de CO<sub>2</sub>, mientras que el cambio de la condición original de la envolvente a niveles más herméticos generó un alza de más de un 83% en régimen de uso normal y en un 97% para periodos en confinamiento.

**Palabras claves:** *Calidad del aire, concentraciones de CO<sub>2</sub>, Covid-19, Design Builder, vivienda.*

## Índice

### Índice general

Resumen .....	i
Índice general.....	ii
Estructura de la tesis.....	xii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Problema de investigación.....	3
1.3. Preguntas e hipótesis de investigación .....	4
1.4. Objetivo .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Síntesis de la metodología de investigación.....	5
Capítulo 2. Marco Teórico .....	6
2.1. Caracterización y uso de la vivienda social en Chile .....	6
2.1.1. Superficie.....	6
2.1.2. Tipología, disposición y materialidad.....	7
2.1.3. Situación de la vivienda social en la ciudad de Coronel .....	7
2.1.4. Uso y ocupación de la vivienda .....	8
2.2. Hermeticidad, ventilación y calidad del aire interior de la vivienda .....	9
2.2.1 Ventilación .....	9
2.2.2 Hermeticidad e infiltraciones de aire .....	9
2.2.3 Tipos de envolvente y tasas de infiltración .....	10
2.2.4 Calidad del aire y concentraciones de CO <sub>2</sub> .....	11
2.2.5 Humedad en la vivienda.....	12

## Índice

2.3. Exigencias y normativa para calidad del aire interior .....	13
2.3.1 Exigencias y normativa nacional .....	13
2.3.2 Exigencias y normativa internacional .....	15
Capítulo 3. Casos de estudio .....	16
3.1 Descripción de los casos de estudio .....	16
3.1.1 Vivienda conjunto habitacional Adela Ester .....	16
3.1.2 Vivienda conjunto habitacional Paso Seco, condominios I, II y III .....	18
3.1.3 Vivienda conjunto habitacional Paso Seco IV .....	20
3.1.4 Vivienda conjunto habitacional barrio sustentable .....	21
3.1.5 Vivienda caso base según exigencias artículo 4.1.10 de la O.G.U.C .....	22
3.1.6 Vivienda caso base según exigencias PPDA .....	23
Capítulo 4. Metodología .....	23
4.1 Definición condiciones de borde .....	23
4.2 Incorporación de mejoras a casos de estudio .....	25
4.3 Criterios complementarios para caso base con cumplimiento O.G.U.C y PPDA .....	26
Capítulo 5. Resultados .....	27
5.1 Casos base vivienda de madera .....	27
5.1.1 Evaluación vivienda con criterios O.G.U.C. ....	27
5.1.2 Evaluación vivienda con criterios PPDA .....	27
5.1.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados .....	28
5.2 Caso 1 Vivienda tipo conjunto habitacional Adela Ester .....	29
5.2.1 Evaluación en estado original de la vivienda .....	29
5.2.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA .....	30
5.2.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados .....	31

## Índice

5.3 Caso 2 Vivienda tipo conjunto habitacional Paso Seco I, II y II.....	32
5.3.1 Evaluación en estado original de la vivienda .....	32
5.3.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA .....	32
5.3.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados .....	33
5.4 Caso 3 Vivienda tipo conjunto habitacional Paso Seco IV .....	34
5.4.1 Evaluación en estado original de la vivienda .....	34
5.4.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA .....	35
5.4.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados .....	36
5.5 Caso 4 Vivienda tipo conjunto habitacional Barrio Sustentable.....	37
5.5.1 Evaluación en estado original de la vivienda .....	37
5.5.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA .....	37
5.5.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados .....	38
5.6 Resultados simulación de concentraciones de CO <sub>2</sub> por recintos.....	39
5.6.1 Recintos caso 1.....	39
5.6.2 Recintos caso 2.....	41
5.6.3 Recintos caso 3.....	42
5.6.4 Recintos caso 4.....	44
5.7 Resultados concentración de CO <sub>2</sub> interior por variación en niveles de hermeticidad al aire en casos de estudio .....	46
5.8 Resultados concentración de CO <sub>2</sub> interior por variación en niveles de hermeticidad al aire y número de ocupantes en casos de estudio .....	47
5.8.1 Evaluación casos en régimen de uso normal .....	47
5.8.2 Evaluación casos en régimen de uso en confinamiento.....	49
Capítulo 6. Conclusiones.....	52

## Índice

6.1. Futuras líneas de investigación.....	55
Bibliografía .....	56
Anexos.....	59
Anexo A .....	59
Anexo B.....	61

## Índice

### Índice de tablas

Tabla 2.1. Tipo de materialidad de las viviendas con mayor predominancia.....	7
Tabla 2.2. Cantidad de viviendas sociales SERVIU, construidas en Coronel.....	8
Tabla 2.3. Línea base de hermeticidad y desviación estándar para la edificación habitacional .....	11
Tabla 3.1. Características de construcción y envolvente caso 1.....	16
Tabla 3.2. Características de construcción y envolvente caso 2.....	18
Tabla 3.3: Características de construcción y envolvente caso 3.....	20
Tabla 3.4. Características de construcción y envolvente caso 4.....	21
Tabla 3.5: Características de construcción y envolvente O.G.U.C .....	22
Tabla 3.6: Características de construcción y envolvente PPDA .....	23

## Índice

### Índice de figuras

Figura 1.1. Esquema metodología de trabajo para el desarrollo de la investigación .....	5
Figura 3.1. Vivienda pareada, conjunto habitacional Adela Ester .....	16
Figura 3.2: Vivienda, conjunto habitacional Paso Seco I, II y III .....	18
Figura 3.3: Sección planta 2° nivel con detalle de materialidad por capa .....	19
Figura 3.4: Vivienda pareada, conjunto habitacional Paso Seco IV .....	20
Figura 3.5: Vivienda pareada, conjunto habitacional Barrio Sustentable .....	21
Figura 5.1: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda caso base .....	27
Figura 5.2. Variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda caso base O.G.U.C en régimen de uso normal y en confinamiento .....	27
Figura 5.3. Variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda caso base PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento .....	28
Figura 5.4.Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso base O.G.U.C y PPDA en régimen de uso normal.....	28
Figura 5.5. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso base O.G.U.C y PPDA en régimen de uso en confinamiento.....	29
Figura 5.6: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Adela Ester.	29
Figura 5.7. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 1 en régimen de uso normal y en confinamiento .....	30
Figura 5.8. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 1 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento .....	30
Figura 5.9. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 1 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal .....	31
Figura 5.10. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 1 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento .....	31
Figura 5.11: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Paso Seco I, II y III.....	32

## Índice

Figura 5.12. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 2 en régimen de uso normal y en confinamiento .....	32
Figura 5.13. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 2 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento .....	33
Figura 5.14. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 2 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal .....	33
Figura 5.15. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 2 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento .....	34
Figura 5.16. Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Paso Seco IV .....	34
Figura 5.17. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 3 en régimen de uso normal y en confinamiento .....	35
Figura 5.18. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 3 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento .....	35
Figura 5.19. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 3 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal .....	36
Figura 5.20. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 3 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento .....	36
Figura 5.21: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Barrio Sustentable.....	37
Figura 5.22. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 4 en régimen de uso normal y en confinamiento .....	37
Figura 5.23. Variación concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 4 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento .....	38
Figura 5.24. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 4 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal .....	38

## Índice

Figura 5.25. Comparación variación de concentraciones de CO <sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 4 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento .....	39
Figura 5.26. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 1, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	40
Figura 5.27. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 2, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	40
Figura 5.29. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana .....	41
Figura 5.28. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana .....	41
Figura 5.30. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 1, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	41
Figura 5.31. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 2, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	42
Figura 5.33. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana .....	42
Figura 5.32. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana .....	42
Figura 5.34. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 1, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	43
Figura 5.35. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 2, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	43
Figura 5.37. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana .....	44
Figura 5.36. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana .....	44

## Índice

Figura 5.38. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 1, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	44
Figura 5.39. Concentraciones de CO <sub>2</sub> en dormitorio 2, con envolvente original y con mejoras PPDA .....	45
Figura 5.40. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana .....	45
Figura 5.41. Concentraciones de CO <sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana .....	45
Figura 5.42. Concentración de CO <sub>2</sub> en ppm según valor de hermeticidad al aire de la vivienda, para régimen de uso normal .....	46
Figura 5.43. Concentración de CO <sub>2</sub> en ppm según valor de hermeticidad al aire de la vivienda, para régimen de uso en confinamiento .....	47
Figura 5.44. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 2 .....	48
Figura 5.45. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 1 .....	48
Figura 5.46. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda - caso 4.....	48
Figura 5.47. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 3 .....	48
Figura 5.48. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 2 .....	49
Figura 5.49. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 1 .....	49
Figura 5.50. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 4.....	50
Figura 5.51. Variación en las concentraciones de CO <sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 3 .....	50

## Índice

Figura 5.52. Incremento porcentual de las concentraciones de CO <sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 2.....	50
Figura 5.53. Incremento porcentual de las concentraciones de CO <sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 1.....	50
Figura 5.54. Incremento porcentual de las concentraciones de CO <sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 4.....	51
Figura 5.55. Incremento porcentual de las concentraciones de CO <sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 3.....	51

## *Estructura de la tesis*

### **Estructura de la tesis**

El presente informe entrega los antecedentes y resultados asociados a la investigación desarrollada, centrada en la modelación y simulación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en viviendas existentes en el centro-sur del país, para el análisis del impacto de los cambios en los tiempos de ocupación de los recintos producto del confinamiento por la llegada Covid-19. La presentación de la información se plantea a partir de la siguiente estructura:

**Capítulo 1. Introducción:** en él se desarrolla la génesis de la investigación, entregando antecedentes que validan y respaldan la necesidad de abordar la problemática detectada, otorgando fuentes de referencia y datos claves obtenidos de la revisión del estado del arte.

**Capítulo 2. Marco teórico:** se presentan y describen conceptos asociados a la habitabilidad, además de la entrega de datos estadísticos para la caracterización de la vivienda en cuanto a materialidad, uso y ocupación de estas. Se abordan además conceptos asociados a la fenomenología del aire y la relevancia de los niveles de hermeticidad en la vivienda.

**Capítulo 3. Casos de estudio:** se describen las características de los casos seleccionados, principalmente en lo que respecta la envolvente de estas viviendas, entregando información clave, necesaria para la carga de datos durante la fase de simulación.

**Capítulo 4. Metodología:** en este capítulo se definen y plantean las condiciones de borde, necesarias para la fase de simulación, además de describir los criterios de validación y/o verificación de los resultados; todo esto a partir del desarrollo de una metodología, obtenida a partir de la revisión del estado del arte.

**Capítulo 5. Resultados:** entrega los resultados obtenidos de la fase de modelación y simulación, los cuales son analizados y cuantificados a partir de un indicador de calidad del aire (CO<sub>2</sub>).

**Capítulo 6. Conclusiones:** en este capítulo se analizan y sintetizan los resultados obtenidos en capítulo 5, con el objeto de entregar cifras concluyentes y datos que permitan cuantificar el impacto del COVID-19 en las concentraciones de CO<sub>2</sub>.

## Capítulo 1. Introducción

### Capítulo 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes

Tanto en Chile como en el mundo, la búsqueda por generar construcciones más sustentables dejó de ser una tendencia, y pasó a ser una necesidad de carácter urgente (A. Tapia, 2020). Y es que esto se debe al impacto que el área de la construcción impone sobre el medio ambiente, pues solo el sector residencial, durante su etapa de operación, es el consumidor de alrededor del 15% de la energía total que se utiliza en el país (Comisión Nacional de Energía Chile; Ministerio de Energía, 2016). En zonas como el Gran Concepción un 49,4% de la energía consumida se destina para la calefacción de la vivienda, de lo cual, un 67,7% es mediante la combustión de leña (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2019); fuente emisora de material particulado MP2,5 y MP10 que contamina tanto el aire intradomiciliario, como el exterior (Cortés & Ridley, 2013). Estas altas cifras de energías consumidas para calefacción de viviendas y la emisión de material particulado contaminante, se relaciona directamente a la deficiencia en la calidad de la envolvente del parque habitacional construido en Chile, teniendo alrededor de un 66% de viviendas que no cuentan con estándares mínimos de aislación térmica (Ministerio de energía, 2020), además, a esta realidad se suman los problemas asociados a la calidad del aire interior; teniendo recintos con problemas de infiltración de aire, una alta concentración de personas en espacios pequeños (Bustamante et al., 2009), lo que se resume en altas niveles de CO<sub>2</sub> y sistemas de ventilación inadecuados o nulos, por lo cual, aquellas viviendas emplazadas en zonas o ciudades declaradas como saturadas por material particulado fino respirable MP 2,5 incrementan la exposición de sus ocupantes a ambientes poco saludables, poniendo en grave riesgo su salud y disminuyendo su calidad de vida (Huneus et al., 2020).

Se debe tener en consideración que la vivienda cumple con el rol de resguardar a sus ocupantes del clima externo, otorgando a su vez ambientes interiores confortables y saludables, que respondan a los requerimientos de sus usuarios, según el uso y estilo de vida que estos lleven (Lopez, ; Payan de Tejada, A.; Fernandez, 2020). Sin embargo, el caso de la vivienda social tiende a ser la excepción a la regla, esto debido a que estas suelen ser soluciones que se centran en reducir los niveles de pobreza y allegamiento (R. Tapia et al., 2012) y cuyos diseños se basan en requerimientos de ocupación estandarizados y en el cumplimiento límite de las normativas de habitabilidad asociadas, y no en las necesidades reales de los distintos grupos familiares, asumiendo, por ejemplo, un número de ocupantes según la cantidad de dormitorios que tendrá el inmueble, el que para viviendas sociales es de mínimo dos unidades, correspondiente al mínimo

## Capítulo 1. Introducción

exigido (Decreto 19, 2020), por lo que la respuesta y las condiciones interiores que le otorgará el recinto podrían no ser las adecuadas; pudiendo verse más aún deterioradas producto de los cambios en los tiempos de ocupación o permanencia al interior de estas.

A nivel país se han desarrollado diferentes estrategias enfocadas a mejorar la calidad de vida de su población, esto mediante la incorporación o complementación de normas, reglamentos u otros instrumentos legales, que permitan generar y/o asegurar ambientes saludables y confortables tanto en exteriores como al interior de recintos o viviendas. Algunas de estas medidas gubernamentales corresponden a la entrada en vigencia del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C) en el año 2000, la cual se centraba en establecer exigencias mínimas de aislamiento térmico en cubiertas, y que durante el paso de los años fue actualizándose, incluyendo entre ello nuevos elementos de la envolvente de la vivienda como son muros perimetrales, pisos ventilados y ventanas. También, durante el último tiempo se han puesto en marcha los Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA); instrumentos de gestión ambiental aplicados en diferentes regiones del país que han sido declaradas como saturadas por MP 2,5 y que dentro de sus medidas se encuentra la implementación de mayores exigencias a la envolvente térmica de la vivienda, estableciendo valores mínimos de transmitancia térmica a cumplir para los diferentes elementos que conforma la envolvente, así como también, limitar a cinco la clase de infiltración de aire a 50 Pa (ach). Medidas exigidas para viviendas nuevas y replicables a viviendas existentes mediante iniciativa propia o bien a través del uso beneficios estatales de reacondicionamiento térmico (Decreto 6: Establece Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica Para Las Comunas de Concepción Metropolitano, 2019). Estas estrategias asociadas a los PPDA traerían consigo una reducción a los requerimientos de energía para calefacción en la vivienda, impactando positivamente sobre el ambiente exterior producto del decrecimiento de las emisiones de contaminantes al aire y una disminución del gasto económico para las familias (GreenLabUC, 2015) pero que, sin embargo, desde el punto de vista de la calidad del aire interior se tendrá un recinto más hermético y con mayor recirculación de aire; lo que podría llevar como consecuencia a un posible aumento de la contaminación en el interior del recinto (Berenguer Subils & Martí Solé, 1987).

Esta realidad nacional ha venido a tomar mayor relevancia ante la emergencia sanitaria producto del Covid-19, y es que estos tiempos de pandemia, que se resumen en periodos de confinamiento, teletrabajo, y de manera general, a una extensión de las horas de permanencia al interior del hogar (Proaño, 2021), han dejado en manifiesto la precariedad en los modos de vida,

## Capítulo 1. Introducción

estándares de habitabilidad y confort al interior de las viviendas en Chile (Guerra, 2020), sobre todo de aquellas familias más vulnerables que habitan en la zona centro-sur del país, cuyos hogares son de carácter social y no ofrecen las prestaciones de habitabilidad adecuada; presentando un ambiente intradomiciliario inseguro, que aumenta su exposición ante enfermedades que afectan el sistema respiratorio (Encinas et al., 2020) y a niveles de concentración de CO<sub>2</sub> que superan los niveles tolerables para la salud de los ocupantes.

### 1.2. Problema de investigación

La mala calidad del aire interior en el hogar es una problemática que se relaciona a las condiciones de habitabilidad que ofrece la vivienda a sus ocupantes; influyendo en ello variables como el tipo de construcción, sistemas de ventilación y calidad de la envolvente, esto en cuanto a criterios de hermeticidad; así como también el destino, tiempos de uso y ocupación que se le da a este tipo de recintos. De la revisión del estado del arte es posible evidenciar que, un mayor nivel de hermeticidad generará mayores niveles de concentración de contaminantes como es el CO<sub>2</sub> sino se cuenta con sistemas de ventilación adecuados para el recinto; lo cual, sumado a condiciones de hacinamiento, o, a un número de ocupación que excede las definidas durante la fase de diseño, agravará los niveles y tiempo de exposición de sus habitantes a altas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

A nivel país, la llegada del COVID-19 generó cambios sustanciales en los modos de vida, dejando sobre la palestra las carencias que presenta la vivienda en cuanto a criterios de habitabilidad y cómo su población más vulnerable sufre los estragos que trajo consigo la pandemia, sin embargo, desde la vereda de la calidad del aire al interior del hogar, resulta necesario analizar y dimensionar este impacto, esto mediante la cuantificación y caracterización de un indicador como lo son las concentraciones de CO<sub>2</sub> a partir de un método de simulación y modelación; lo cual permite establecer y disponer de rangos y parámetros de referencia del contaminante, en aquellas viviendas de tipo social emplazadas en el centro sur del país, considerando sus características constructivas originales y su respuesta al incorporar mejoras a la envolvente según criterios PPDA. De esta manera se puede contar con datos que sirvan como antecedente para estudios asociados a la pandemia por COVID-19, así como también para el desarrollo de futuras líneas de investigación relacionadas a la problemática de la calidad del aire en los recintos de tipo habitacional y a la monitorización a partir de las concentraciones de CO<sub>2</sub> previamente evaluadas y simuladas mediante software.

## Capítulo 1. Introducción

### 1.3. Preguntas e hipótesis de investigación

En viviendas de tipo social del centro sur de Chile, las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el aire interior se elevan ante el cambio en los tiempos de ocupación producto del COVID-19, sin embargo, se mantienen bajo el rango de las 900 ppm cuando se cuenta con envolventes sin aplicación de criterios PPDA; mientras que la incorporación de estos genera concentraciones que sobrepasan los valores límites, es decir, sobre las 1600 ppm.

### 1.4. Objetivo

#### 1.4.1. Objetivo general

Determinar el impacto en los valores de concentración de CO<sub>2</sub> en viviendas sociales producto del cambio en los regímenes de ocupación, originado por el confinamiento ante la emergencia del Covid-19, y cómo la incorporación de mejoras térmicas y de hermeticidad en la envolvente, según exigencias de los PPDA, aporta sobre las cifras obtenidas; esto para generar un diagnóstico de la vivienda social en Chile, respecto a criterios de calidad del aire interior ante tiempos de pandemia.

#### 1.4.2. Objetivos específicos

- 1.- Caracterizar el parque habitacional social existente para la definición de muestreo de viviendas a evaluar y condiciones de borde para la etapa de análisis.
- 2.- Analizar variables de uso y ocupación de viviendas a partir de la revisión del estado del arte, que permita definir los parámetros a emplear durante la fase de simulación para caso de uso normal de la vivienda y uso en estado de confinamiento.
- 3.- Evaluar mediante software de simulación Design Builder los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en los casos definidos, considerando su estado inicial y con incorporación de estrategias de mejora de envolvente térmica, aplicando estados de uso y ocupación en periodos normales y en confinamiento.
- 4.- Analizar los resultados obtenidos de las simulaciones, realizando un contraste entre los diferentes casos evaluados, para la identificación de variables incidentes en los valores alcanzados y su implicancia en el aporte de la calidad del aire interior de los recintos

## Capítulo 1. Introducción

### 1.5. Síntesis de la metodología de investigación

En el desarrollo de esta investigación se emplea una metodología de tipo experimental, a partir de Simulación y modelación mediante software Design Builder, evaluando los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> al interior de las viviendas definidas como casos de estudio. Las viviendas de estudio son cuatro, considerando diferentes sistemas constructivos, de dos plantas pareadas y/o aisladas, pertenecientes a distintos conjuntos habitacionales, emplazados en la comuna de Coronel; localidad declarada como saturada, afecta a la implementación del PPDA de Concepción Metropolitano y ubicada en el puesto n°9 de las urbes sudamericanas más contaminadas (IQAir, 2020).

Los casos se evaluaron considerando su uso en tiempos normales y en periodos de pandemia, bajo envolventes originales de los recintos, así como también, mediante su adaptación a criterios PPDA. Los criterios y definición de condiciones de borde se basan en lo establecido en el DB HS3 del CTE v2017 y en datos estadísticos nacionales, los cuales fueron aplicados a cada una de las muestras antes indicadas.

La Figura 1.1 muestra el esquema aplicado para alcanzar los objetivos previamente planteados.

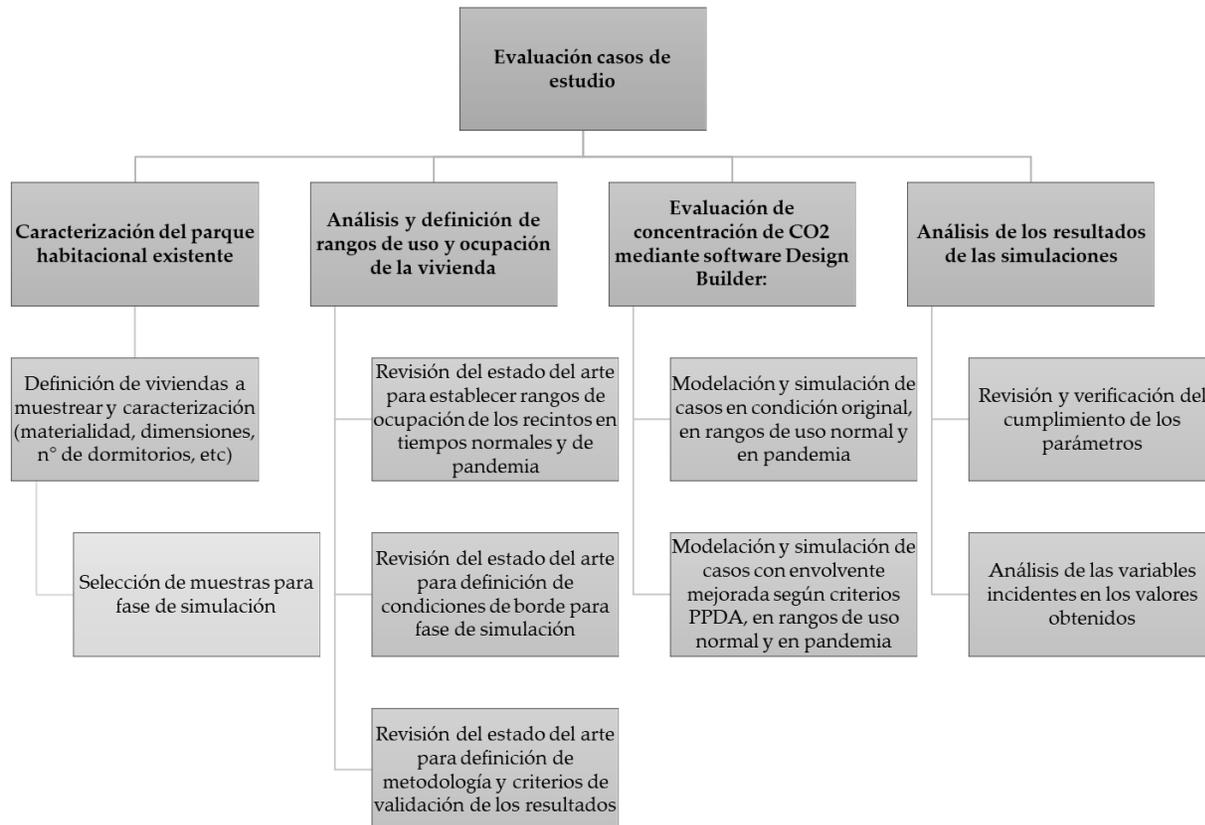


Figura 1.1. Esquema metodología de trabajo para el desarrollo de la investigación

## Capítulo 2. Marco Teórico

### Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se presentan datos claves asociados a la caracterización y uso de la vivienda en Chile y los resultados de la revisión bibliográfica, que expone los conceptos vinculados a calidad del aire interior y niveles de concentración de CO<sub>2</sub> al interior de viviendas, así como también, el marco normativo vinculado al fenómeno en estudio que aborda esta investigación.

#### 2.1. Caracterización y uso de la vivienda social en Chile

El acceso a una vivienda digna y de calidad es una de las necesidades fundamentales para la población, y suele formar parte de políticas sociales y gubernamentales, cuyo enfoque principal es generar reducción en las tasas de pobreza en el país.

En Chile, se estima que al año 2019, el número total de viviendas en relación a su población es de 350 unidades por cada mil habitantes y de ellas, considerando los hogares de bajos ingresos, el 55,7% es propietario de una vivienda (Centro de Estudios de Ciudad y Territorio, 2020). Por otra parte, según datos del Censo (2017), en Chile, al año 2017, el déficit habitacional cuantitativo de viviendas alcanzaba las 393.613 unidades; promoviéndose por ello a la actualización de las políticas habitacionales, de modo tal de adaptar las diferentes soluciones habitacionales disponibles y hacer más eficientes los procesos de adjudicación de subsidios, impactando así sobre la calidad de vida de las familias más necesitadas y de la clase media.

##### 2.1.1. Superficie

El estándar de la vivienda social en el país se encuentra basado en los requerimientos técnicos establecidos para “Proyectos del Programa de Integración Social y Territorial”, debidamente aprobados por resolución del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Respecto a las superficies mínimas edificadas, éstas serán de 47 m<sup>2</sup> para casas y 52 m<sup>2</sup> para departamentos, considerando como mínimo cuatro recintos, conformados por dos dormitorios, baño y una zona de estar-comedor-cocina; esto según lo establecido en Decreto n°19, Artículo 10°, el cual Reglamenta Programa de Integración Social y Territorial, y modifica DS N° 1, (V. Y U.), de 2011, Reglamento del Sistema Integrado de Subsidio Habitacional. 17 de mayo de 2016.

Cabe mencionar que las soluciones habitacionales sociales no distinguen el número de integrantes que conforman un grupo familiar, es decir, el Estado otorgará una vivienda de iguales

## Capítulo 2. Marco Teórico

características tanto para una familia conformada por cuatro personas, así como también para una que esté conformada por cinco o más.

### 2.1.2. Tipología, disposición y materialidad

Según datos del INE (2017), se estima que la tipología de vivienda predominante a nivel país es la “casa”, con un 79,7% de existencia, seguido por “departamento”, con un 17,5%. En cuanto a la disposición o modo de agrupamiento un 39,1% de las viviendas son pareadas, seguido de las viviendas aisladas con un 38,3% y los departamentos con un 18% (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2019).

Del tipo de materialidad de las viviendas que predominan a nivel nacional, se presentan en la Tabla 2.1 aquellas que cuentan con mayores porcentajes de presencia, tanto a nivel nacional, así como también diferenciadas entre el área urbana y rural; información obtenida de la Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2019.

Tabla 2.1. Tipo de materialidad de las viviendas con mayor predominancia

Materialidad	Nacional	Urbano	Rural
Albañilería / Ladrillos	48,3%	49,7%	39,8%
Madera /Tabiquería liviana	28,5%	24,9%	49,9%
Hormigón armado	13,4%	14,8%	5,0%
Bloques de hormigón	7,1%	8,0%	1,8%

### 2.1.3. Situación de la vivienda social en la ciudad de Coronel

Coronel, ciudad costera ubicada en la Provincia de Concepción, Región del Biobío, ha presentado durante los últimos años un crecimiento considerable de su población, teniendo entre los años 1982 y 2015 un incremento de casi el doble de sus habitantes, pasando de 66.000 a 116.000, aproximadamente, con una proyección estimada de más de 125.000 al año 2020 (*Reporte Comunal - Biblioteca Del Congreso Nacional de Chile*, n.d.). La principal causa de esta importante variación en la cantidad de habitantes de la ciudad, es originada por el gran número de conjuntos de viviendas sociales ejecutados por el estado, como solución habitacional destinada a los segmentos más bajos de la población (Ministerio de Medio Ambiente, 2018).

En la Tabla 2.2, se muestra el número de viviendas sociales SERVIU, construidas en Coronel desde el año 1986 al año 2015, diferenciando por periodos las cantidades ejecutadas, obtenidos a partir de datos de la Dirección de Obras Municipales de Coronel (2015).

## Capítulo 2. Marco Teórico

Tabla 2.2. Cantidad de viviendas sociales SERVIU, construidas en Coronel

Período	Vulnerables	Reconstrucción	Vulnerables en integración
1986-2005: "Reducción del déficit"	9.312	0	0
2005-2009: Última década	894	0	0
2010-2015: Post Terremoto	2.585	1.719	0
2015: Integración Social y Reactivación Económica	0	0	584
<b>Total de viviendas SERVIU</b>		<b>15.094</b>	

### 2.1.4. Uso y ocupación de la vivienda

El hacinamiento en Chile está determinado por el número de habitantes por dormitorio disponible en el hogar, así, se considerará que una familia está en condición de hacinamiento cuando el número de ocupantes sea mayor a 2,5 personas por dormitorio. Bajo ese concepto, a nivel país, un 14,19% de los hogares que se encuentran presentes en el Registro Social de Hogares se encuentran hacinados; valor obtenido del promedio de porcentaje entre las dieciséis regiones del país, mientras que en la comuna de Coronel este valor supera el promedio nacional con un 15,4% a junio de 2020 (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2021).

En cuanto al número de habitantes por hogar, se estima una cantidad de 3,8 personas como tamaño promedio de los hogares en situación de pobreza multidimensional en Chile, es decir, aquellos hogares que cuentan con carencias no solo de ingresos, sino que también en dimensiones como la educación, salud, trabajo, entre otras (Ministerio de Desarrollo Social, 2019).

Basado en los datos estadísticos entregados por el Ministerio de desarrollo social (2019), un 45% de las familias es nuclear biparental y un 51% de ellos tiene niños, niñas y adolescentes entre los 0 y 17 años. Además, un 34,4% de las mujeres que cuentan o no con un rol de jefa de hogar, se encuentran inactivas laboralmente por cuidado de terceros y/o labores domésticas (División Observatorio Social, Secretaria de Evaluación Social, 2020).

De las actividades que desarrollan los integrantes se tienen: la asistencia a fuentes de trabajo por parte los jefes de hogar, con jornadas de 45 horas semanales, y la asistencia a establecimientos educacionales por parte de los integrantes menores que lo habitan, cuyos horarios para aquellos establecimientos incorporados al régimen de jornada escolar completa diurna, es de 38 horas para escuelas básicas y 42 horas para escuelas de enseñanza media, de acuerdo a lo

## Capítulo 2. Marco Teórico

definido por la Ley 19.532, Artículo 2º, que Crea el Régimen de jornada escolar completa diurna y dicta normas para su aplicación. 13 de noviembre de 1997.

### 2.2. Hermeticidad, ventilación y calidad del aire interior de la vivienda

La fenomenología del aire en la vivienda corresponde a un punto de gran interés y relevancia al momento de abordar conceptos o criterios de habitabilidad y confort al interior de ellas, y es que desde el aspecto físico constructivo inciden sobre el confort térmico y acústico, por ejemplo, así como también pueden afectar sobre la salud y bienestar del ocupante, ya sea por el control de olores, o bien, producto de la concentración de agentes contaminantes; esto desde la arista de la calidad del aire.

El Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío (CITEC) (2013) aborda los conceptos de ventilación y calidad del aire interior de un edificio, indicando su relación y dependencia a una serie de parámetros, entre los cuales se encuentran: la calidad del aire exterior, fuentes contaminantes interiores de los edificios, diseño y operación de los sistemas de ventilación, hermeticidad al aire de la envolvente y las características del ambiente o clima en el cual se emplaza el edificio, para poder ventilar y refrigerar naturalmente.

#### 2.2.1 Ventilación

La ventilación es definida como un proceso mediante el cual se provee o remueve aire desde un recinto con el objetivo de controlar, según los requerimientos, la temperatura, humedad, así como también los niveles o concentraciones de contaminantes en el aire al interior del recinto (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007).

Durante la fase de diseño de una vivienda es importante analizar y definir las estrategias de ventilación a utilizar, considerando las variables climáticas y microclimáticas de la zona en la que se emplazará la construcción para así aprovechar estrategias de tipo pasiva que optimicen los requerimientos de energía, esto mediante la ventilación natural a través de rejillas, puertas, ventanas y/o aberturas definidas, por ejemplo, o bien, de ser necesario pueden emplearse sistemas de ventilación mecánica que permitan generar este ingreso y salida de aire voluntario o, en su defecto implementar sistemas híbridos (ventilación natural combinada con sistemas mecánicos).

#### 2.2.2 Hermeticidad e infiltraciones de aire

La hermeticidad al aire es definida como la propiedad de las envolventes de las edificaciones de oponerse al paso del viento, y corresponde a una de los principales factores incidentes en las tasas de infiltración al interior de estos recintos (UNE-EN 13829:2002, 2002). Esto se debe a que la

## Capítulo 2. Marco Teórico

presencia de aberturas y grietas en la envolvente, sumado a diferencias de presiones, generan un flujo incontrolado de aire; cuyas consecuencias pueden ser problemas de desempeño energético, en la calidad del aire interior y en el confort (Ossio et al., 2012).

El CITEC (2014) aborda, a través del Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones, el fenómeno de las infiltraciones de aire e identifica tres acciones a partir de las cuales se generan diferencias de presiones entre la envolvente:

- 1) La acción del viento: referida a las infiltraciones producidas por la presión del viento sobre la fachada de los recintos, la cual dependerá de variables tales como la geometría de la vivienda, la velocidad del viento incidente y el grado de exposición al que esté sometida la fachada; asociado a la topografía, rugosidad del terreno y localización respecto a otros recintos o edificios cercanos.
- 2) Diferencias de temperatura entre el interior y exterior: corresponden a las infiltraciones que se generan por efectos convectivos (chimenea o Stack) a causa de las diferencias de temperatura. Esto ocurre dado que, a mayor temperatura del aire, menor es su densidad, por lo cual, el peso que ejerce la columna de fluido que queda sobre la altura considerada de la grieta será menor.
- 3) El uso de aparatos de ventilación mecánica: infiltraciones generadas por la sobrepresión a causa del uso de sistemas de impulsión de aire o de exfiltración ocasionado por la depresión producidas por el empleo de sistemas de extracción.

### 2.2.3 Tipos de envolvente y tasas de infiltración

Que una vivienda sea más o menos hermética dependerá en primer lugar de la materialidad de su envolvente, es decir, de los elementos con los cuales estén conformados sus muros, pues estos son el elemento con mayor superficie expuesta o en contacto con el exterior (Díaz, 2015). En ese aspecto, las propiedades intrínsecas de los materiales definirán en parte la permeabilidad de la envolvente, por lo cual conociendo el sistema constructivo se podrían estimar valores de hermeticidad o tasas de infiltración de aire; sin embargo, estas estimaciones podrían ser netamente teóricas, pues las singularidades en la envolvente son las que asumen un rol protagónico al momento de hablar sobre hermeticidad en la vivienda. Las discontinuidades propias de cada sistema y el encuentro con y entre elementos de distinta materialidad o sistemas constructivos generan puntos críticos o uniones que se transforman en zonas de infiltración de aire, por lo cual el tipo, longitud y/o área se transforman en variables de relevancia al momento de abordar este

## Capítulo 2. Marco Teórico

fenómeno (CITEC-UBB, 2013). Además, se debe tener en importante consideración la fase de construcción, pues también es un factor incidente en la hermeticidad de los recintos; una mala calidad de materiales y mano de obra poco especializada podría conllevar a una incorrecta ejecución o instalación de materiales, sellos o elementos que forman parte de la envolvente, y por ende, incrementar los riesgos de fallas y singularidades que favorezcan las infiltraciones.

Investigaciones asociadas al tema han determinado que los sistemas constructivos de hormigón o albañilería, presentan menores tasas de infiltración de aire que aquellos sistemas livianos de madera; esto se debe a que los sistemas constructivos de madera se conforman de entramados, es decir, una serie de partes sobrepuestas, con gran cantidad de uniones, lo que lo vuelve intrínsecamente permeable, respecto a un muro de hormigón, por ejemplo.

Por otra parte, el CITEC (2014) a partir de la realización de una serie de ensayos experimentales normados, elaboró una línea base de hermeticidad de las edificaciones en Chile mediante la cual es posible definir clases de infiltración o grados de hermeticidad para estos recintos. En total, son cuatro las materialidades o sistemas constructivos que predominan a nivel país, las cuales se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Línea base de hermeticidad y desviación estándar para la edificación habitacional

Materialidad predominante envolvente	Valor n50 Línea base <sup>1</sup>	Desviación estándar
Hormigón	9,0	5,3
Albañilería de ladrillo	11,8	3,6
Albañilería de ladrillo y estructura liviana	15,0	10,4
Entramado de madera	24,6	12,4
Otras materialidades	10,2	4,3

### 2.2.4 Calidad del aire y concentraciones de CO<sub>2</sub>

La calidad del aire interior en una vivienda estará determinada por la concentración y tipos de contaminantes que estén presentes en el. Uno de los principales contaminantes al interior de viviendas es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), proveniente de la respiración humana y la humedad. Este

---

<sup>1</sup> El CITEC a través de su Manual de Hermeticidad al aire define el valor n50 como un indicador de renovaciones de aire por hora de la construcción sometida a una diferencia de presión de 50 Pa.

## Capítulo 2. Marco Teórico

gas incoloro suele ser empleado como indicador de estándares de calidad de aire interior y como parámetro para evaluar desempeños de ventilación (CITEC-UBB, 2013).

Las fuentes más recurrentes generadoras o contaminadoras del aire intradomiciliario son las siguientes:

**Contaminación del aire exterior:** los niveles de material particulado y agentes contaminantes como el CO<sub>2</sub>, presentes en el aire exterior son una fuente de contaminación para las personas no solo cuando estas se encuentran expuestas a ambientes abiertos, sino que también al interior de las viviendas, pues, este puede ingresar al recinto a través de la envolvente, según la permeabilidad que esta posea, mediante aberturas, sistemas de ventilación que no cuenten con filtros, entre otros.

En ciudades con altos niveles de contaminación atmosférica exterior por MP 2.5 y MP10, se han llevado a cabo estudios que han demostrado que las edificaciones más herméticas reducen en hasta un 50% el ingreso de aire contaminado al interior de los recintos, mientras que aquellos menos herméticos, su reducción solo alcanzaba un 15% (Jiménez Tiberio, 2020). Sin embargo, considerar mejoras en la hermeticidad de la envolvente como una medida resolutive para lograr ambientes más confortables y con calidades de aire adecuadas puede resultar contraproducente para la salud de sus ocupantes; pues un exceso de estanqueidad en la envolvente de una vivienda podría provocar un agravio en la calidad del aire si no se cuenta con las ventilaciones necesarias e inclusive generar ocurrencia de condensaciones superficiales (Dirección General de Industria; Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2016)

**Uso de artefactos de combustión a leña o con sustancias que contienen carbono:** la leña es considerado como un emisor de material particulado, por lo que el uso de estufas y/o cocinas que emplean este material como elemento de combustión son generadores de altos niveles de contaminación al ambiente exterior y también intradomiciliario (Cortés & Ridley, 2013).

**Ocupantes:** el proceso de respiración de las personas genera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el cual, de generarse en ambiente pocos ventilados, se acumula en concentraciones que pueden ser gran riesgo para la salud.

### 2.2.5 Humedad en la vivienda

El fenómeno de la humedad resulta ser uno de los puntos esenciales al momento de hablar de habitabilidad y confort en la vivienda; y es que un mal estudio y análisis de este concepto podría desencadenar una serie de problemas constructivos, disminuciones del confort higrotérmico, y de higiene y salubridad para sus ocupantes. Al interior de la vivienda, son diversas las fuentes

## Capítulo 2. Marco Teórico

generadoras de humedad, las cuales, combinadas con ciertos factores, pueden favorecer la condensación superficial de estos recintos; siendo algunos de ellos la actividad humana (respiración, cocinar, planchar, uso de sistemas de calefacción a llama abierta, etc), presencia de puentes térmicos, baja temperatura exterior, baja resistencia térmica de la envolvente, mala ventilación (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2020).

Un punto relevante de este fenómeno es que las patologías constructivas y enfermedades en la población, que se suelen asociar a deterioros de la vivienda y presencia de moho, muchas veces se deben u originan producto de la baja renovación de aire de los recintos (CITEC-UBB, 2013); cobrando una relevancia adicional el concepto de ventilación, pues no solo permite reducir los niveles de concentración de contaminantes como el CO<sub>2</sub>, sino que también disminuye el riesgo de condensación superficial y sus consecuencias.

### 2.3. Exigencias y normativa para calidad del aire interior

#### 2.3.1 Exigencias y normativa nacional

Hasta el año 2012, en Chile, no existían normativas que establecieran requisitos mínimos o parámetros de calidad del aire interior aceptables para edificios del parque residencial. La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C), por su parte, a través de su Artículo 4.1, referido a las condiciones de habitabilidad de las edificaciones, considera únicamente como exigencia la necesidad de contar con ventanas o bien, en ausencia de ellas, sistemas mecanizados o ductos de ventilación que permitan renovar el aire al interior de las viviendas; no estableciendo volúmenes mínimos y dejando a criterio de los proyectistas la definición de los sistemas de ventilación a considerar.

Actualmente, existen algunas normativas que abordan el concepto de calidad del aire interior, estableciendo requisitos para los edificios de vivienda o uso residencial, siendo algunos de ellos las que se describen a continuación:

#### **NCh 3308:2013:**

Norma Chilena que establece requisitos para la calidad del aire interior para recintos destinados a la ocupación humana de más de tres pisos, especificando, entre otras medidas, tasas mínimas de ventilación que proporcionen a las personas ambientes saludables, minimizando los efectos adversos hacia su salud.

## Capítulo 2. Marco Teórico

El enfoque de esta norma se centra en su aplicación en edificios nuevos, ampliaciones o modificaciones, así como también, para ser empleada como guía en la mejora o rehabilitación de la calidad del aire interior de edificios existentes.

### **NCh 3309:2014:**

Normativa Chilena que establece y define funciones y requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas de ventilación mecánicos y naturales, así como también la envolvente del edificio, cuyo objeto es generar un ambiente interior que cuente con niveles de calidad del aire interior aceptables. Está norma es aplicable para edificios de vivienda de no más de tres pisos de altura y es basada en la norma ANSI/ASHRAE 62.2-2013.

### **Planes de Prevención y de Descontaminación Atmosférica (PPDA):**

Corresponden a instrumentos de gestión ambiental cuya aplicación se enfoca en ciudades o comunas declaradas como zonas latentes y/o saturadas por material particulado MP10 y MP2,5. Se identifican dos tipos de planes, teniendo así los Planes de Prevención, que se centran en evitar la superación de una o más de las normas de calidad ambiental vigentes en el país, y los Planes de Descontaminación a través de los cuales se definen e implementan medidas y acciones que permitan la reducción de los niveles de concentración de material contaminante en el aire, así como también la reducción en las emisiones; hasta alcanzar niveles que no superen las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental vigentes en el país y resguardar así la salud de su población.

Actualmente, son trece las regiones del país que cuentan con la aplicación de Planes de prevención y/o descontaminación, entre los cuales se incluyen las comunas del Concepción Metropolitano. El PPDA de Concepción, cuya entrada en vigencia data del 17 de diciembre de 2019, incorpora requisitos de mejora a la envolvente térmica y desde el concepto de calidad del aire interior, plantea como exigencias los valores de infiltraciones de aire, grado de estanqueidad al viento de puertas y ventanas, indicados en Tabla 3.6. Para criterios de ventilación, el reglamento no establece valores límites, sino más bien hace referencia a que las viviendas deberán contar con sistemas de ventilación que aseguren y garanticen calidades de aire interior adecuados para sus usuarios; las cuales deberán ser acreditadas por profesionales competentes, basándose, según corresponda, en lo establecido en las normas NCh3308 y NCh3309, indicadas anteriormente.

## Capítulo 2. Marco Teórico

### 2.3.2 Exigencias y normativa internacional

De la revisión de normativa internacional es posible verificar la existencia de una serie de reglamentos o dictámenes que abordan parte de las diferentes aristas que componen o permiten el desarrollo de ambientes interiores aptos para sus usuarios, como por ejemplo la regulación de sistemas de higienización y climatización, entre otros. A continuación, se presenta una breve descripción de dos normas internacionales que establecen requerimientos o exigencias para calidad del aire interior, junto con metodologías de cálculo para la verificación del cumplimiento de los estándares.

#### **ANSI/ASHRAE 62.2-2019:**

Norma que entrega criterios y parámetros de ventilación y calidad del aire interior aceptable para edificios residenciales de baja altura. Esta norma estadounidense, que cuenta con carácter de aplicación voluntario, define estándares y métodos de cálculo para la obtención de caudales de ventilación que permitan eliminar contaminantes generados de las emisiones de las personas, materiales y/o procesos o actividades que se desarrollen al interior del recinto. La norma incluye, además, requisitos secundarios, centrados en las propiedades y rendimientos de los sistemas de ventilación que puedan emplearse para la mejora en la calidad del aire interior.

#### **Documento Básico HS**

El Documento Básico corresponde a un complemento reglamentario del Código Técnico de la Edificación de España (CTE) y establece exigencias básicas de salubridad, con el objeto de que los usuarios de edificios cuenten con condiciones interiores que permitan resguardar su salud. El documento, aborda seis conceptos o fenómenos que afectan sobre la calidad de vida de los usuarios en la edificación, denominados como HS (Higiene, salud y protección del medioambiente); siendo la exigencia de salubridad HS 3 la asociada a la calidad del aire interior. El DB HS 3 establece reglas y procedimientos enfocados en proporcionar tasas de ventilación óptimas que permitan la eliminación de contaminantes, generados habitualmente producto del uso de los recintos; cuantificado mediante las concentraciones de CO<sub>2</sub>.

## Capítulo 3. Casos de estudio

### Capítulo 3. Casos de estudio

#### 3.1 Descripción de los casos de estudio

Se selecciona un grupo de cuatro viviendas pertenecientes a conjuntos habitacionales de carácter social, construidos en diferentes puntos de la comuna de Coronel durante los últimos 10 años y que representan un alto número de soluciones habitacionales entregadas por el Estado. La selección considera viviendas ejecutadas en base a diferentes sistemas constructivos, pero que incorporan exigencias térmicas producto de su data de ejecución; posterior al año 2007, en el cual entra en vigencia los requerimientos térmicos para complejos de muro, techumbre y pisos ventilados, definidos en el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C, la cual en su versión actualizada (noviembre de 2021) no ha presentado modificaciones respecto a dichas exigencias. Por otra parte, el modo agrupamiento a estudiar serán los casos de viviendas aisladas y pareadas, esto basado en lo indicado en apartado 2.1.2.

##### 3.1.1 Vivienda conjunto habitacional Adela Ester

El caso 1 de estudio, que se muestra en la Figura 3.1, corresponde a una vivienda de hormigón armado, pareada, de dos niveles, perteneciente al conjunto habitacional Adela Ester, ubicado en población Villa Los Jardines. Este proyecto corresponde una de las soluciones habitacionales post terremoto, otorgadas por el Estado de Chile, a través del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), que benefició a 541 familias damnificadas de la comuna.

En la Tabla 3.1 se presentan los datos de construcción y características de la envolvente de la vivienda, junto con los valores de transmitancia y resistencia térmica<sup>2</sup>, obtenidos de los antecedentes técnicos del proyecto.



Figura 3.1. Vivienda pareada, conjunto habitacional Adela Ester

Tabla 3.1. Características de construcción y envolvente caso 1

Elemento	Característica
Año de construcción	2011-2015

<sup>2</sup>En tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se indican algunos valores de transmitancia y/o resistencia térmica, referenciados a código de Certificado de Listado Oficial de Soluciones Constructivas MINVU

## Capítulo 2. Marco Teórico

Tipo de vivienda	Pareada
N° de pisos	2
Superficie promedio	48,5 m <sup>2</sup>
Materialidad muros perimetrales 1 y 2° piso	Hormigón armado (e=10cm) + Placa Poligyp 30 [mm]
Materialidad techumbre	Estructura de madera + lana de vidrio Aislanglass rollo libre de espesor 100 [mm] y densidad 11 Kg/m <sup>3</sup>
Tipo de ventana	PVC monorriel, cristal simple <sup>3</sup>
Transmitancia Muros (U)	1,26 [W/m <sup>2</sup> K] Solución 1.2.MA.4.2
Resistencia térmica R100 del material aislante en techumbre	236 [m <sup>2</sup> K/W]x100 Solución R100/V.2.15
Resistencia térmica R100 del material aislante en pisos ventilados	151 [m <sup>2</sup> K/W]x100 Solución R100/PE.6.1

---

<sup>3</sup> Proyecto no establece transmitancias para el vidrio. Dado esto, se establece un valor U, según resultados de ensayos aplicados a ventanas de dichas características.

### Capítulo 3. Casos de estudio

#### 3.1.2 Vivienda conjunto habitacional Paso Seco, condominios I, II y III

El caso 2 de estudio, Figura 3.2, corresponde a una vivienda básica, sin ampliación, perteneciente al conjunto habitacional Paso Seco; viviendas sociales entregadas como solución post terremoto, las cuales, producto de defectos constructivos presentados debieron ser demolidas y reconstruidas. Esta vivienda tipo se conforma de dos niveles, con una estructura de hormigón armado para el primer nivel (considerando muros y losa), y un segundo nivel de estructura de madera, según detalle que se muestra en Figura 3.3. El



Figura 3.2: Vivienda, conjunto habitacional Paso Seco I, II y III

proyecto se encuentra emplazado en sector Paso Seco Sur, comuna de Coronel y consta de más de 340 viviendas, distribuidas en tres condominios. Las características principales de esta vivienda se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características de construcción y envolvente caso 2

Elemento	Característica
Año de construcción	2017-2019
Tipo de vivienda	Aislada / pareada
N° de pisos	2
Superficie promedio	47,33 m <sup>2</sup>
Materialidad muros perimetrales 1° piso	Hormigón armado (e=10cm) + Sistema EIFS (EPS Dens.10 Kg/m <sup>3</sup> y 60 mm espesor)
Materialidad muros perimetrales 2° piso	Ver figura con configuración de estructura, revestimientos y aislación en 2° nivel
Materialidad techumbre	Estructura de madera + colchoneta lana de vidrio de espesor 140 [mm] y densidad 12 Kg/m <sup>3</sup>
Tipo de ventana	PVC monorriel, cristal simple <sup>3</sup>
Transmitancia Muros (U)	0,44 [W/m <sup>2</sup> K]
Resistencia térmica R100 del material aislante en techumbre	238 [m <sup>2</sup> K/W]x100 Solución R100/V.3.1

Capítulo 3. Casos de estudio

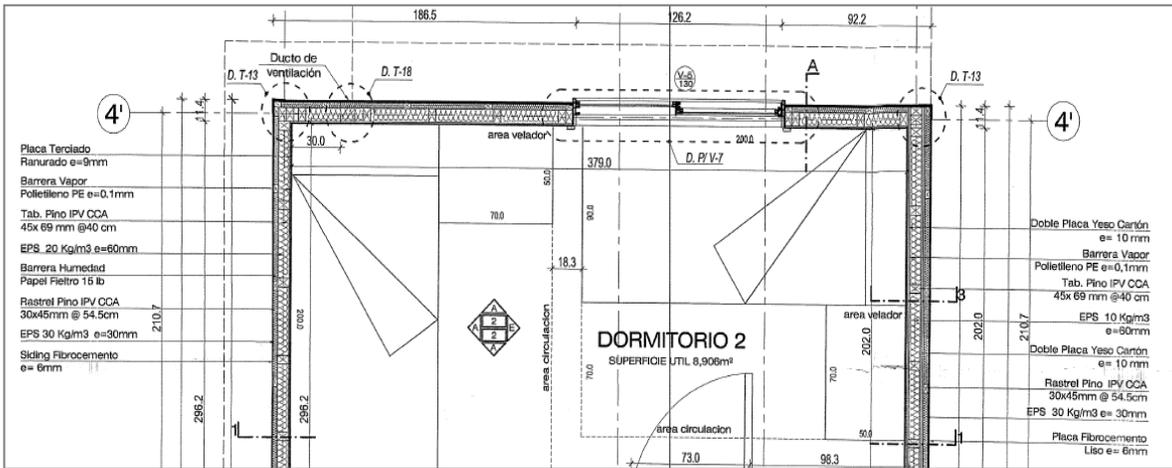


Figura 3.3: Sección planta 2º nivel con detalle de materialidad por capa

### Capítulo 3. Casos de estudio

#### 3.1.3 Vivienda conjunto habitacional Paso Seco IV

El caso 3 de estudio, Figura 3.4, corresponde a una vivienda de madera, de dos niveles, perteneciente al conjunto habitacional Paso Seco, condominio IV, ubicado en población Paso Seco Sur. En la Tabla 3.3 se presentan los datos de construcción y características de la envolvente de la vivienda, junto con los valores de transmitancia térmica, obtenidos de los antecedentes técnicos del proyecto.

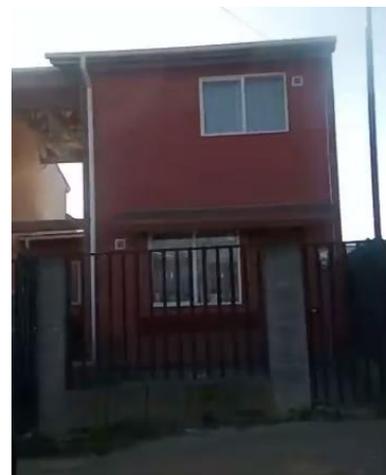


Figura 3.4: Vivienda pareada, conjunto habitacional Paso Seco IV

Tabla 3.3: Características de construcción y envolvente caso 3

Elemento	Característica
Año de construcción	2017-2019
Tipo de vivienda	Aislada / pareada
N° de pisos	2
Superficie promedio	63,66 m <sup>2</sup>
Materialidad muros perimetrales 1° y 2° piso	Estructura de madera + Aislación en EPS de densidad 15[kg/m <sup>3</sup> ] y lana mineral densidad 40 [kg/m <sup>3</sup> ] y espesor 80 [mm], ubicación según planimetría + revestimientos según planimetría
Materialidad techumbre	Estructura de madera + lana de vidrio Aislanglass rollo libre de espesor 120 [mm] y densidad 11 Kg/m <sup>3</sup>
Tipo de ventana	Corredera de PVC, vidrio monolítico de 3mm
Resistencia térmica R100 del material aislante en muros	270 [m <sup>2</sup> K/W]x100 Solución R100 /PE.6.2
Resistencia térmica R100 del material aislante en techumbre	236 [m <sup>2</sup> K/W]x100 Solución R100 /v.2.15

### Capítulo 3. Casos de estudio

#### 3.1.4 Vivienda conjunto habitacional barrio sustentable

El cuarto caso de estudio, Figura 3.5, corresponde a una vivienda, perteneciente al conjunto habitacional Barrio Sustentable; construidas mediante el sistema EXACTA®, que consiste en ladrillos de poliestireno expandido de alta densidad relleno en sus cavidades por enfierradura y hormigón. La vivienda seleccionada es pareada, de dos niveles y es una solución habitacional de tipo social post terremoto que benefició a 289 familias de la comuna.



Figura 3.5: Vivienda pareada, conjunto habitacional Barrio Sustentable

La Tabla 3.4 muestra los datos de construcción y características generales de la envolvente de la vivienda, junto con los valores de transmitancia térmica, obtenidos de los antecedentes técnicos del proyecto. En Anexo A se muestra escantillón de la vivienda.

Tabla 3.4. Características de construcción y envolvente caso 4

Elemento	Característica
Año de construcción	2014-2018
Tipo de vivienda	Pareada
N° de pisos	2
Superficie promedio	51,75 m <sup>2</sup>
Materialidad muros perimetrales 1° piso	Hormigón armado tipo EXACTA® de espesor 18 [cm] (Ladrillo EPS densidad 30 [kg/m <sup>3</sup> ]). Por el interior considera una placa yeso cartón estándar de 10 [mm] de espesor. Cara exterior con estuco de mortero de 6 [mm].
Materialidad muros perimetrales 2° piso	Hormigón armado tipo EXACTA® de espesor 12 [cm] (Ladrillo EPS densidad 30 [kg/m <sup>3</sup> ]). Por el interior considera una placa yeso cartón estándar de 10 [mm] de espesor. Cara exterior con estuco de mortero de 6 [mm]

### Capítulo 3. Casos de estudio

Materialidad techumbre	Aislación bovedilla tipo TE-130: poliestireno expandido de espesor 100 [mm] y densidad 15 [kg/m <sup>3</sup> ]
Tipo de ventana	Corredera de PVC, vidrio termopanel
Transmitancia Muros 1° nivel (U)	0,38[W/m <sup>2</sup> K]
Transmitancia Muros 2° nivel (U)	0,61 [W/m <sup>2</sup> K] Solución 1.2.M.A10.2
Transmitancia Techumbre (U)	242 [m <sup>2</sup> K/W]x100 Solución R100/PE.7.2
Transmitancia Piso ventilado (U)	N/A

#### 3.1.5 Vivienda caso base según exigencias artículo 4.1.10 de la O.G.U.C

Para la evaluación de los casos base según exigencias de O.G.U.C y PPDA, se empleará una vivienda de madera, de dos pisos; ya que, según datos estadísticos de la Tabla 2.1 de este documento, y a las características de la envolvente de los casos estudio a evaluar en esta investigación, corresponde a la alternativa con mayor porcentaje de existencia a nivel nacional.

A continuación, se muestra la Tabla 3.5 con las características de la envolvente a considerar en fase de simulación.

Tabla 3.5: Características de construcción y envolvente O.G.U.C

Elemento	Característica
N° de pisos	2
Superficie promedio	50 m <sup>2</sup>
Materialidad muros	Estructura de madera con aislante de EPS
Materialidad techumbre	Estructura de madera con aislante de lana de vidrio
Transmitancia Muros (U)	1,7 [W/m <sup>2</sup> K]
Transmitancia Techumbre (U)	0,38 [W/m <sup>2</sup> K]
Ventanas (% Máximo de superficie vidriada)	21% para vidrio monolítico 60% para DVH con $3,6 \geq U > 2,4$ [W/m <sup>2</sup> K]

### Capítulo 3. Casos de estudio

	75% para DVH con $U \leq 2,4$ [W/m <sup>2</sup> K]
Puertas	Sin exigencia térmica
Ventilación	Debe contar con a lo menos una ventana o bien, ductos de ventilación adecuados.

#### 3.1.6 Vivienda caso base según exigencias PPDA

Para caso PPDA, las características de la vivienda serán las indicadas en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Características de construcción y envolvente PPDA

Elemento	Característica
N° de pisos	2
Superficie promedio	50 m <sup>2</sup>
Materialidad muros	Estructura de madera con aislante de EPS
Materialidad techumbre	Estructura de madera con aislante de lana de vidrio
Tipo de ventana	Corredera de PVC, vidrio termopanel
Transmitancia Muros (U)	0,6 [W/m <sup>2</sup> K]
Transmitancia Techumbre (U)	0,33 [W/m <sup>2</sup> K]
Transmitancia sobrecimiento (U)	2,22 [W/m <sup>2</sup> K]
Transmitancia piso ventilado (U)	0,6 [W/m <sup>2</sup> K]
Ventanas (% Máximo de superficie vidriada según orientación y valor U)	Según Tabla n°15 de PPDA de Concepción Metropolitano
Puertas	1,7 [W/m <sup>2</sup> K]
Infiltraciones de aire	5 a 50 Pa
Ventilación	Según exigencias de NCh 3309:2014

## Capítulo 4. Metodología

### Capítulo 4. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se empleó una metodología de tipo experimental, a partir de Simulación y modelación. Mediante software Design Builder se simularon y evaluaron los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> al interior de las viviendas definidas como casos de estudio. Las viviendas estudiadas se conforman de dos plantas, pareadas y/o aisladas, pertenecientes a 4 conjuntos habitacionales, emplazados en diferentes puntos de la comuna de Coronel; localidad declarada como saturada, afecta a la implementación del PPDA de Concepción Metropolitano y ubicada en el puesto n°9 de las urbes sudamericanas más contaminadas (IQAir, 2020).

Por otra parte, se evaluaron dos casos base, el primero con cumplimiento de las exigencias térmicas y de ventilación establecidas según artículo 4.1.10 de la O.G.U.C y un segundo caso con cumplimiento de requerimientos PPDA del Concepción Metropolitano. En lo que respecta a los cuatro casos de estudio, estos se basaron en sistemas constructivos diferentes, con el objeto de comprender y determinar cómo incide la envolvente y los cambios de régimen de ocupación sobre los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>, y estimar cómo afecta la incorporación de criterios de aislación térmica y mejora en los niveles de hermeticidad, definida en los PPDA, en la calidad del aire interior de estos recintos. Las características generales de las viviendas evaluadas corresponden a las siguientes: muestra N°1, vivienda de hormigón armado; muestra N°2, vivienda de hormigón armado en primer nivel y estructura de madera en segundo nivel; muestra N°3, vivienda de estructura de madera en ambos niveles; muestra N°4, vivienda de estructura con sistema EXACTA® en ambos niveles. Las condiciones de borde fueron definidas según lo establecido en el DB HS3 del CTE v2017 y a datos estadísticos nacionales, los cuales fueron aplicados a cada una de las muestras antes indicadas.

#### 4.1 Definición condiciones de borde

Las condiciones de diseño cargadas al programa Design Builder se basan principalmente en las definidas en el Apéndice C del Documento Básico HS, el cual establece “Condiciones de diseño para la determinación del caudal de ventilación de los locales habitables de las viviendas”, sin embargo, algunos criterios fueron adaptados a datos comunales y/o nacionales, a fin de generar resultados más representativos de la realidad que afrontan las familias que habitan viviendas sociales en Chile

## Capítulo 4. Metodología

Se indican a continuación los criterios considerados, tanto para el caso base como en el mejorado (incorporando mejoras en la envolvente térmica según PPDA):

- a) **Generación de CO<sub>2</sub>:** 19 l/h por ocupante, sin diferenciar entre periodos de vigilia o de sueño.
- b) **Número de ocupantes:** el DB HS define una cantidad de ocupantes según el número de dormitorios con los que cuenta la vivienda, siendo tres personas para viviendas con dos dormitorios, sin embargo, para este estudio se considerarán cuatro habitantes por vivienda, según los antecedentes indicados en apartado 2.1.4 de este documento.
- c) **Escenarios de ocupación en régimen de uso normal:**
  - i) **Periodos de sueño:** de 8 horas ininterrumpidas para cada uno de los ocupantes (entre las 24:00 y 08:00)
  - ii) **Ausencias diurnas:** de 13 horas al día para uno de los ocupantes y de 8 horas para el resto. Sábados y domingos, dos ausencias de 2 horas por día, para cada uno de los ocupantes.
- d) **Escenarios de ocupación en régimen de uso en periodo de confinamiento:**
  - i) **Periodos de sueño:** de 8 horas ininterrumpidas para cada uno de los ocupantes (entre las 24:00 y 08:00)
  - ii) **Ausencias diurnas:** de 13 horas al día para uno de los ocupantes, el resto de los ocupantes realiza actividades desde la vivienda (estudios, teletrabajo). Sábados y domingos sin ausencias<sup>4</sup>
- e) **Puertas de las distintas estancias cerradas**
- f) **Concentración de CO<sub>2</sub> en el aire exterior:** media anual de 400 ppm
- g) **Datos climáticos:** se utilizará archivo climático del Weather Data de Energyplus, correspondiente a localidad de Concepción. Se ajustan datos asociados a Coronel: latitud, longitud, altura respecto al mar.
- h) **Ganancias internas y externas:** equipos 3,9 W/m<sup>2</sup>, iluminación 7,5 W/m<sup>2</sup>
- i) **HVAC apagado y ventilación natural activada**
- j) **Infiltraciones:** las asociadas a cada sistema constructivo, según lo indicado en Tabla 2.3 de este documento.

---

<sup>4</sup>Las horas de ocupación en periodos de confinamiento se basaron en los datos de encuestas para la medición de pobreza energética, asociadas a proyecto Fondecyt Regular 1200551 "Energy poverty prediction based on social housing architectural design in the central and central – southern zones of Chile: an innovative index to analyze and reduce the risk of energy poverty"

## Capítulo 4. Metodología

- k) **Periodo de simulación a considerar:** mayo a septiembre (correspondiente a meses más fríos según datos climáticos)
- l) **Caudales de ventilación:** será según los datos entregados por la Tabla 4.1b del anexo m de ANSI/ASHRAE 62.2-2013. Para viviendas con superficies entre 47 y 93 [m<sup>2</sup>] y dos dormitorios define un requisito de ventilación de 24 l/s. Design Builder presenta dos alternativas para caudales de ventilación: l/s-m<sup>2</sup> y l/s-persona, por lo cual, dado que los recintos fluctúan en superficies dentro del rango indicado anteriormente, se empleará un caudal de 6 l/s-persona.

Para la fase de simulaciones se consideró la obtención de concentraciones mensuales del contaminante, a partir del estado original de los casos y con incorporación de criterios PPDA a su envolvente. Además, se simularon los recintos variando elementos de hermeticidad de la vivienda y ocupación, a fin de cuantificar el impacto de estas en los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>; todo esto bajo escenarios de uso normal y en periodos de confinamiento. Por otra parte, se complementaron los análisis mediante la revisión por rangos horarios de recintos críticos, como lo son los dormitorios durante su uso en periodos de sueño y las zonas de estar-comedor en horas de estancias simultáneas en él.

La caracterización y cuantificación de la exigencia se realizó según lo establecido en el DB HS3, punto 2, la que establece que las concentraciones medias anuales de CO<sub>2</sub> serán inferiores a 900 ppm y que el acumulado anual que exceda 1600 ppm, sea menor que 500.000 ppm\*h.

### 4.2 Incorporación de mejoras a casos de estudio

Realizadas las simulaciones de los casos bases y obtenidos los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>, se analizaron y definieron las soluciones de mejora a la envolvente térmica y a los criterios de ventilación que se establecen en el PPDA del Concepción Metropolitano. Los valores alcanzados en la mejora de las viviendas corresponden a los indicados en Tabla 3.6; para aquellos casos en los cuales se contaba con valores de transmitancia más bajos que los exigidos, estos fueron conservados y se verificó el desempeño de estas unidades.

## Capítulo 4. Metodología

### **4.3 Criterios complementarios para caso base con cumplimiento O.G.U.C y PPDA**

La vivienda base configurada cuenta con un ancho de 4 [m] y 6,25[m] de largo, generando así una superficie de 25 [m<sup>2</sup>] por planta. Se consideran ventanas en primer y segundo nivel, únicamente en fachada frontal y posterior. La superficie vidriada total de cada fachada es de 3,86 [m<sup>2</sup>], equivalente al 21% de cada paramento. La simulación no consideró particiones interiores, por lo tanto, los resultados se obtuvieron a partir del volumen total interior del recinto.

Para la configuración de cumplimiento de exigencias PPDA se empleó como plantilla base la utilizada en simulación de caso O.G.U.C, ajustando las características de la envolvente según valores de transmitancia térmica exigibles, indicadas en Tabla 3.6. Se consideró una ventana de PVC termopanel de doble cristal simple de 3mm y una cámara de aire de 8 mm. Infiltraciones se ajustaron a 5, valor n50. Caudales de ventilación se conservan según cálculo indicado en punto 4.1, letra I, de este documento.

## Capítulo 5. Resultados

### Capítulo 5. Resultados

#### 5.1 Casos base vivienda de madera

##### 5.1.1 Evaluación vivienda con criterios O.G.U.C.

La Figura 5.2 muestra los resultados de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire interior, obtenidos de la simulación del caso base con características de envolvente bajo cumplimiento de Artículo 4.1.10 de la O.G.U.C. En ella se aprecia que, en periodos de ocupación normal de la vivienda, las concentraciones del contaminante se mantienen cercanas a las 700 ppm, mientras que, para periodos en confinamiento estas se elevan a valores sobre las 780 ppm, sin embargo, en ambos casos los niveles de concentración se encuentran bajo los valores límites. El cambio de ocupación del recinto, pasando de un escenario de uso normal a confinamiento, genera un alza de un 10,7% en los niveles de CO<sub>2</sub> interior.



Figura 5.1: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda caso base

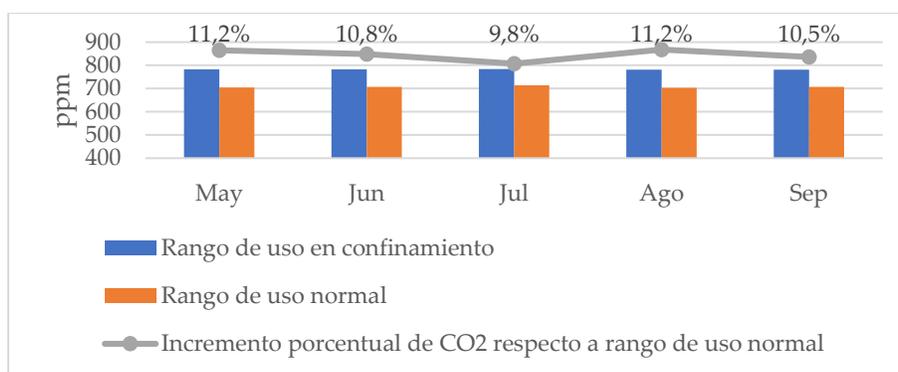


Figura 5.2. Variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda caso base O.G.U.C en régimen de uso normal y en confinamiento

##### 5.1.2 Evaluación vivienda con criterios PPDA

La simulación del caso base con exigencias PPDA arroja cifras mucho más elevadas que las obtenidas con criterios O.G.U.C. La Figura 5.3 muestra la variación mensual del contaminante, según régimen de uso de la vivienda, teniendo concentraciones sobre las 2200 ppm para escenario de ocupación normal, y cercanas a las 2800 ppm para escenario en confinamiento; aumento equivalente a un 19% en los niveles.

## Capítulo 5. Resultados

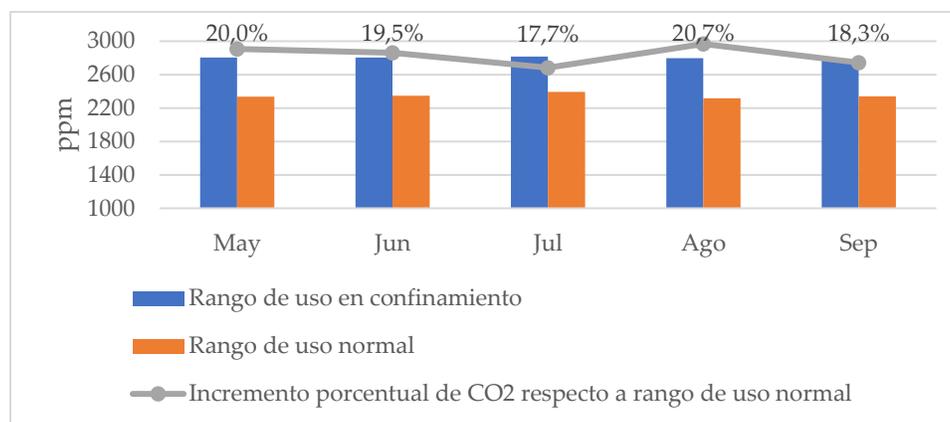


Figura 5.3. Variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda caso base PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento

### 5.1.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados

Del proceso de simulación de casos base, al analizar las diferencias por régimen de ocupación de la vivienda que se muestran en la Figura 5.4 se obtuvo que, para uso normal aquella con cumplimiento de exigencias PPDA presenta una concentración promedio aproximada de CO<sub>2</sub> de 2350 ppm, mientras que aquella con cumplimiento de requerimientos O.G.U.C. el promedio es de 710 ppm, lo que equivale a un alza de más de un 230% en las tasas del contaminante en el aire.

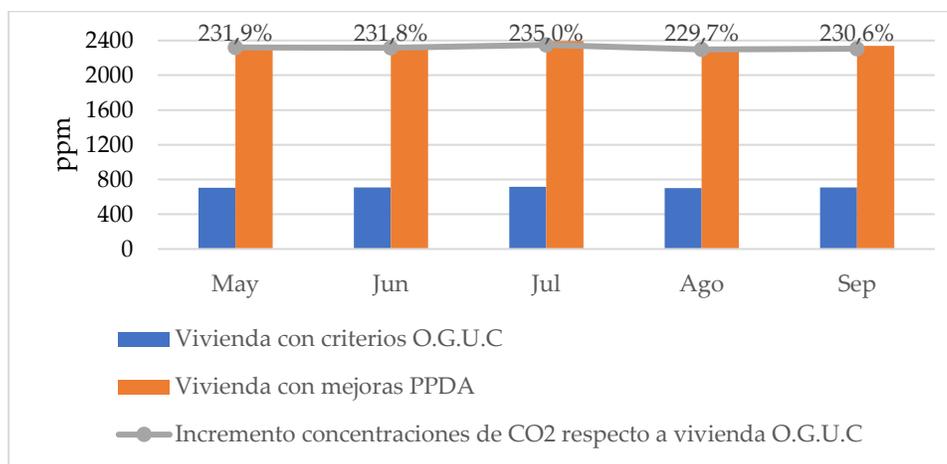


Figura 5.4. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso base O.G.U.C y PPDA en régimen de uso normal

La Figura 5.5 muestra la comparativa de los resultados de las simulaciones considerando calendario de uso en confinamiento, arrojando concentraciones de 2800 ppm para caso PPDA, lo que representa un alza de más de un 250% respecto a la vivienda O.G.U.C, cuyos niveles del contaminante fueron cercanos a las 780 ppm promedio. Se puede verificar que el caso PPDA, tanto

## Capítulo 5. Resultados

en régimen de uso normal como en confinamiento, supera las concentraciones de CO<sub>2</sub> límite, generando un ambiente interior con calidades de aire inaceptables.

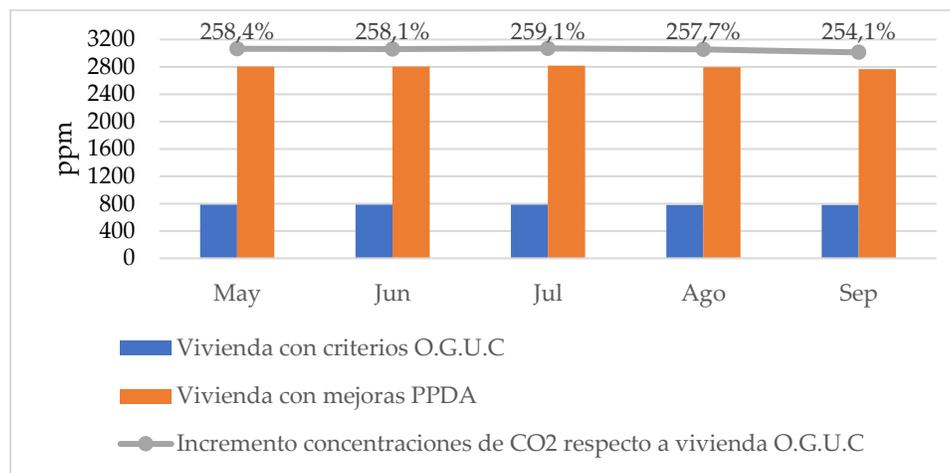


Figura 5.5. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso base O.G.U.C y PPDA en régimen de uso en confinamiento

## 5.2 Caso 1 Vivienda tipo conjunto habitacional Adela Ester

### 5.2.1 Evaluación en estado original de la vivienda

Las simulaciones de la vivienda que se muestra en Figura 5.6, considerando sus características de envolvente original, arroja como resultados concentraciones de CO<sub>2</sub> que rondan las 1200 ppm para los meses más fríos evaluados, indicados en Figura 5.7; esto en escenario de uso normal del recinto. En periodos de confinamiento las cifras de concentración por mes fluctúan sobre las 1400 ppm, es decir, que los cambios en los escenarios de ocupación generaron un aumento de alrededor de un 20% promedio de la presencia del contaminante al interior del hogar.

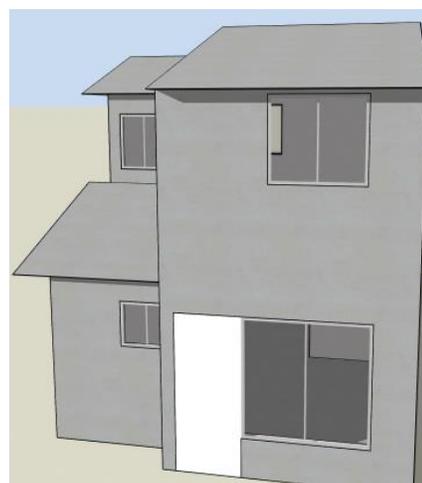


Figura 5.6: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Adela Ester

## Capítulo 5. Resultados

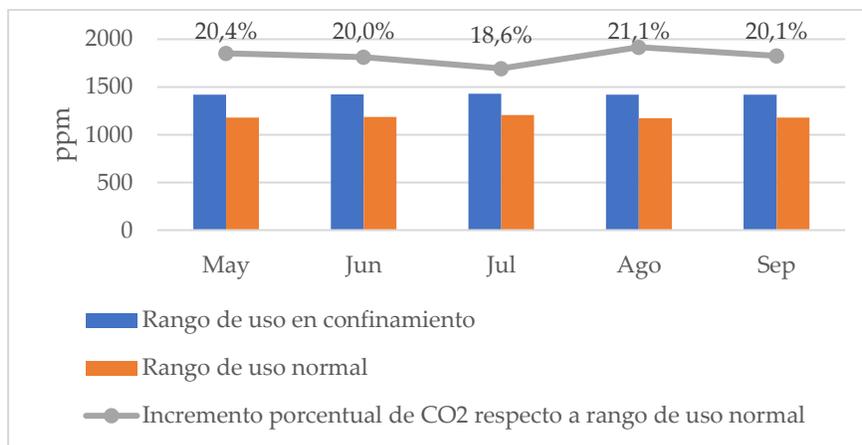


Figura 5.7. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 1 en régimen de uso normal y en confinamiento

### 5.2.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA

La incorporación de mejoras a la envolvente térmica, según exigencias PPDA, genera concentraciones de CO<sub>2</sub> que superan los límites tolerables, es decir, sobre las 900 ppm, tanto en régimen de ocupación normal, como en confinamiento, además, la Figura 5.8. muestra que, para el caso de ocupación normal, las concentraciones son cercanas a las 1.900 ppm; cifra que para periodos en confinamiento se superan en más de un 20%, alcanzando las 2.200 ppm de CO<sub>2</sub> en el aire interior.

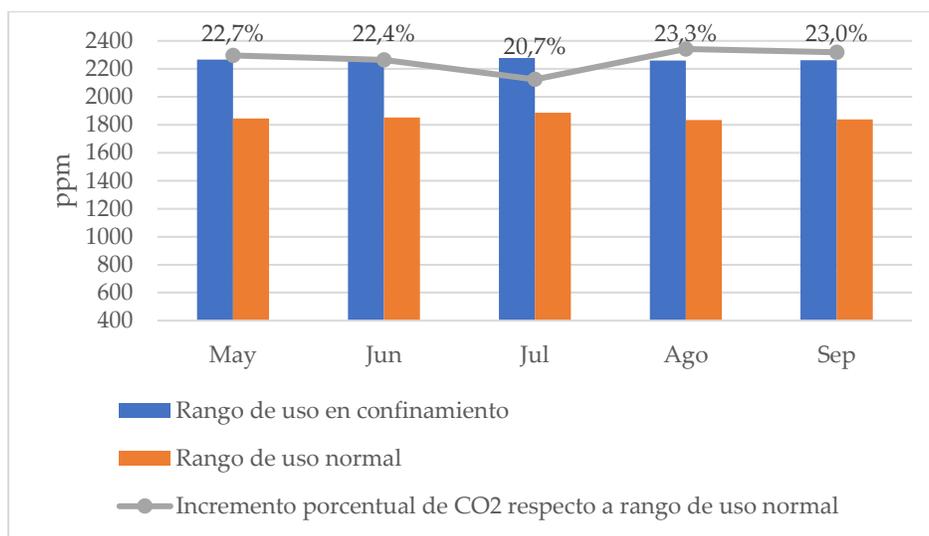


Figura 5.8. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 1 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento

## Capítulo 5. Resultados

### 5.2.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados

Como se indica en punto 5.2.1 y 5.2.2, los cambios en los periodos de ocupación evaluados generaron aumentos en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en más de un 20% promedio. En cuanto al impacto de las mejoras a la envolvente térmica para cumplimiento PPDA, la Figura 5.9 muestra que se obtuvieron mayores incrementos en los niveles de concentración del contaminante, alcanzando cifras sobre el 55% para régimen de ocupación normal de la vivienda. Para el caso de uso en confinamiento, la Figura 5.10 muestra que el alza en los niveles de concentración tiende a ser similar, alcanzando un promedio de más de un 59% entre la vivienda original y con incorporación de mejoras PPDA.

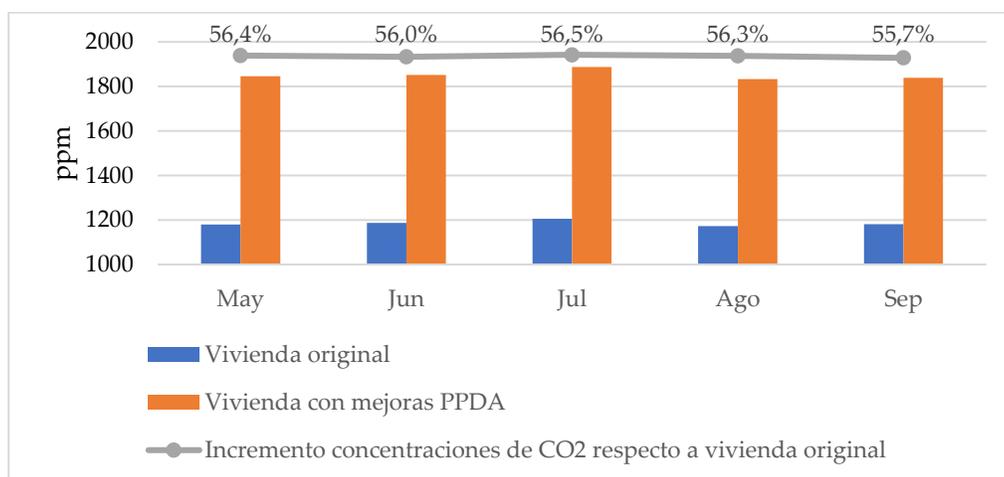


Figura 5.9. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 1 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal

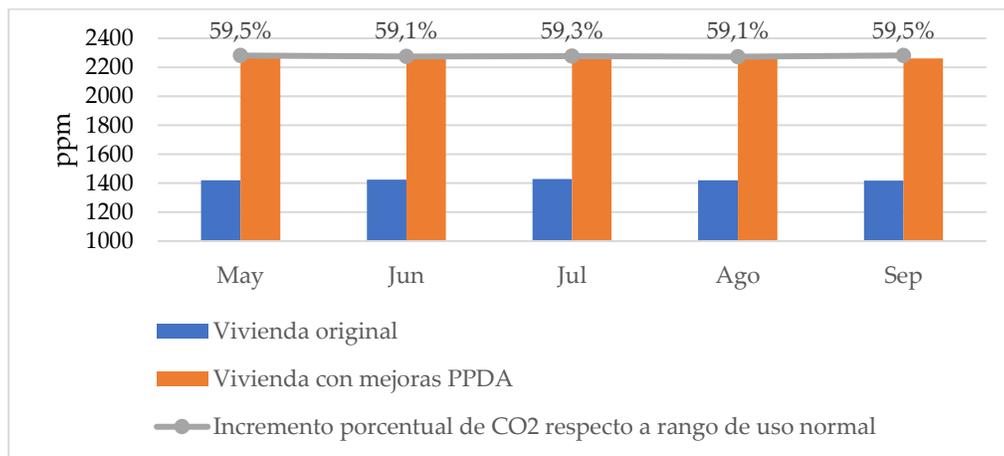


Figura 5.10. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 1 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento

## Capítulo 5. Resultados

### 5.3 Caso 2 Vivienda tipo conjunto habitacional Paso Seco I, II y III

#### 5.3.1 Evaluación en estado original de la vivienda

Los resultados de la vivienda del conjunto Paso Seco I, II y III que se muestran en la Figura 5.12, entregan concentraciones mensuales de CO<sub>2</sub> bajo las 900 ppm para escenario de uso normal y bajo 1000 ppm para uso en confinamiento; cifras que se relacionarían principalmente por las tasas de infiltración de aire, asignadas en 18 para este caso, correspondiente al promedio ponderado por presencia de materialidad (madera-hormigón), a partir de valores de línea base presentados en Tabla 2.3 de este documento. Por otra parte, en la misma figura se evidencia que el escenario de ocupación en confinamiento presenta un incremento en las concentraciones respecto al uso normal, fluctuando entre un 15% y un 17% mensual para los meses analizados.



Figura 5.11: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Paso Seco I, II y III

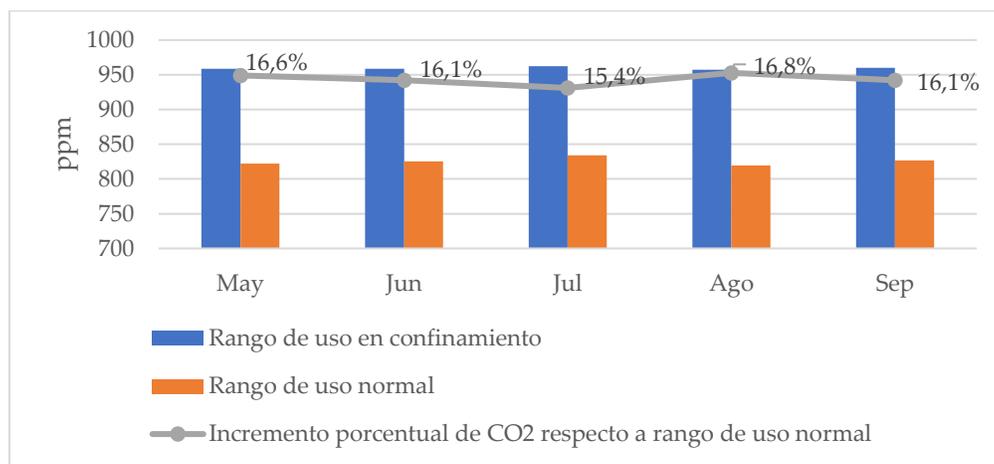


Figura 5.12. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 2 en régimen de uso normal y en confinamiento

#### 5.3.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA

Como se indica en Tabla 3.2, la vivienda original del conjunto habitacional Paso Seco I, II y III presenta valores de transmitancia térmica de muros y techumbre que cumplen con los valores exigidos en PPDA, por lo cual solo se realizaron los ajustes necesarios al resto de elementos que abarcan estos Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica, es decir, ventanas, puertas, sobrecimientos e infiltraciones de aire.

## Capítulo 5. Resultados

Los resultados, indicados en la Figura 5.13, muestran un promedio de concentración mensual de CO<sub>2</sub> superior a las 1800 ppm, tanto para el escenario de uso normal como en confinamiento, ocasionado principalmente por la limitación de las infiltraciones de aire. Al contrastar las cifras de uso normal y en confinamiento se evidencia que una mayor permanencia al interior de la vivienda incrementó en promedio un 23% los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>.

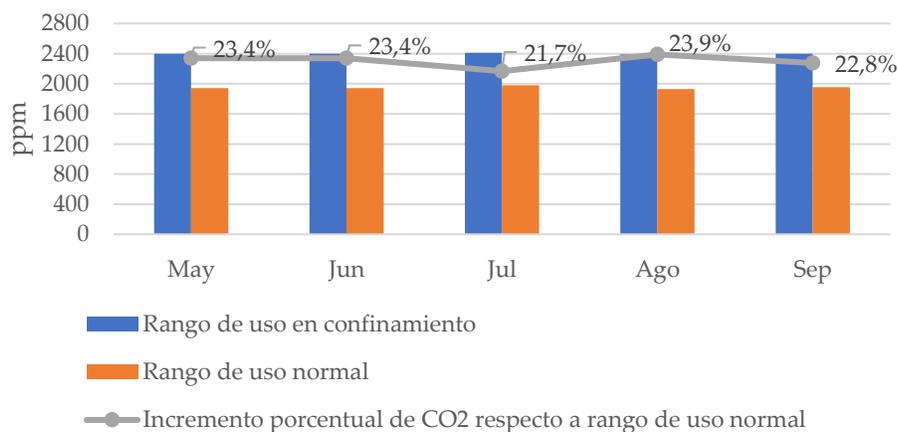


Figura 5.13. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 2 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento

### 5.3.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados

La Figura 5.14 muestra los resultados de concentración de CO<sub>2</sub> para escenario de uso normal de la vivienda estudiada, evidenciando de ello que en su estado original presenta niveles de CO<sub>2</sub> en rangos tolerables para la salud humana, mientras que al incorporar exigencias PPDA estas cifras se elevan en más de un 135% para los diferentes meses evaluados, es decir se aumenta en más del doble las ppm del contaminante al interior de la vivienda.

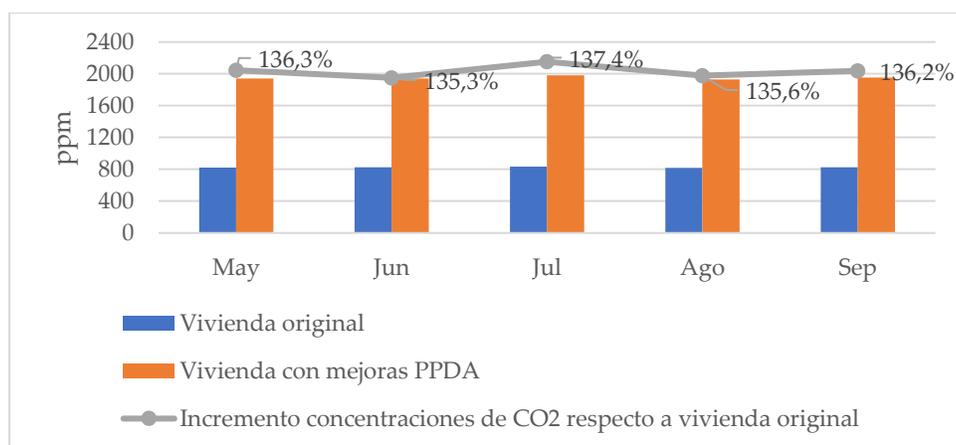


Figura 5.14. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 2 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal

## Capítulo 5. Resultados

Para el escenario de ocupación en periodos de confinamiento la situación tiende a ser similar, teniendo incrementos sustanciales de un 150% aproximado en los niveles de concentración por mes (ver Figura 5.15), generados por la adaptación de la vivienda original a exigencias PPDA.

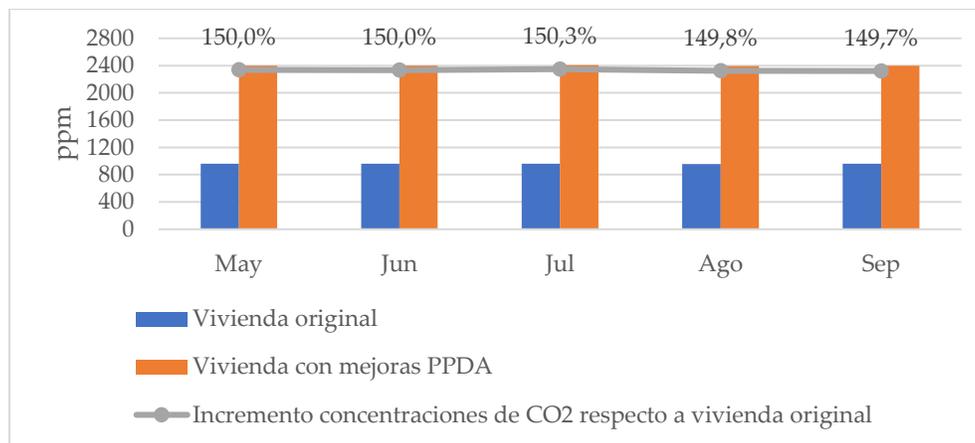


Figura 5.15. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 2 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento

### 5.4 Caso 3 Vivienda tipo conjunto habitacional Paso Seco IV

#### 5.4.1 Evaluación en estado original de la vivienda

Esta vivienda con su sistema constructivo de madera y con las tasas de infiltración asignadas a partir de los valores indicados en Tabla 3.6 para su tipología, arroja un promedio de concentración de CO<sub>2</sub> de 630 ppm para régimen de uso normal y 700 ppm para uso en confinamiento (ver Figura 5.17). Ambos valores promedios se encuentran por debajo de la línea base límite permitida, sin embargo, el escenario de uso en confinamiento presenta un incremento porcentual mensual de concentración de un 11% respecto al uso normal.

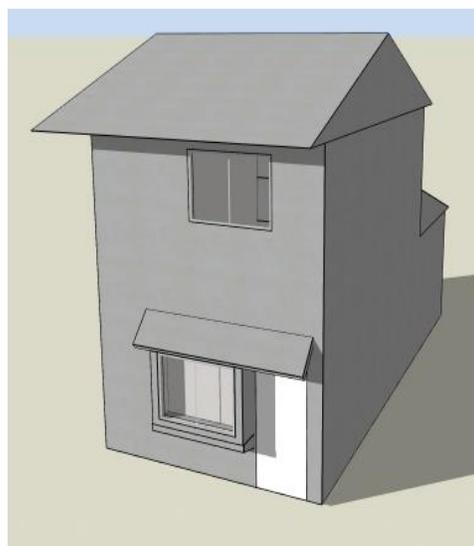


Figura 5.16. Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Paso Seco IV

## Capítulo 5. Resultados

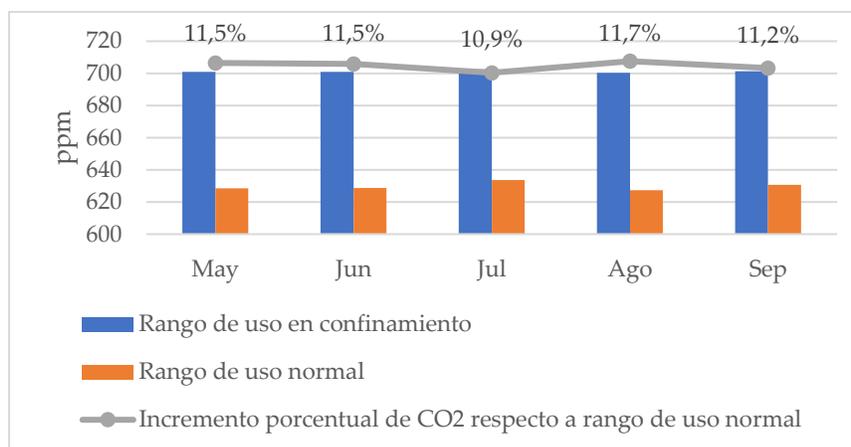


Figura 5.17. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 3 en régimen de uso normal y en confinamiento

### 5.4.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA

La vivienda en su estado original presenta una envolvente térmica que cumple con valores PPDA en lo que respecta transmitancia térmica de muros y techumbre. Ante esto, las mejoras incorporadas se basaron en añadir ventanas termopanel, sobrecimientos y puertas exteriores con cumplimiento de valor U y ajustar infiltraciones a 5 renovaciones de aire por hora. La incorporación de estos ajustes generó que las concentraciones en régimen de uso normal bordeen las 1530 ppm y en calendario de uso en confinamiento los niveles de CO<sub>2</sub> interior superan las 1800 ppm (ver Figura 5.18). Respecto a la variación por tipo de escenario de ocupación, la Figura 5.18 muestra que el uso en confinamiento presenta un 20% más de ppm concentradas al interior de la vivienda que las obtenidas en el escenario de uso normal.

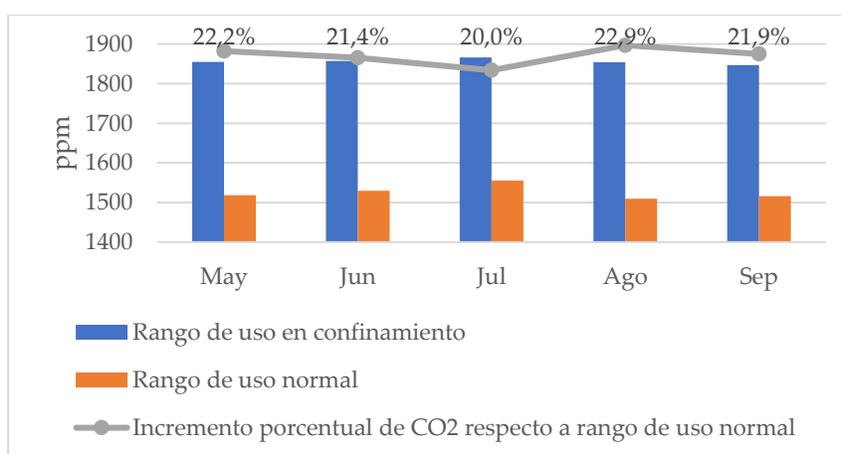


Figura 5.18. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 3 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento

## Capítulo 5. Resultados

### 5.4.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados

Al contrastar los resultados obtenidos según los escenarios de ocupación, se evidencia que, para un uso normal de la vivienda, incorporar y dar cumplimiento a las exigencias PPDA, principalmente en las tasas de hermeticidad, genera un incremento de aproximadamente un 140% en los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> interior por mes respecto a su estado original (ver Figura 5.19). Para el escenario en periodos de confinamiento la situación tiende a ser similar, pero con diferenciales aún mayores; superando en más de un 160% los niveles de concentración entre la vivienda con mejoras PPDA y su estado original (ver Figura 5.20).

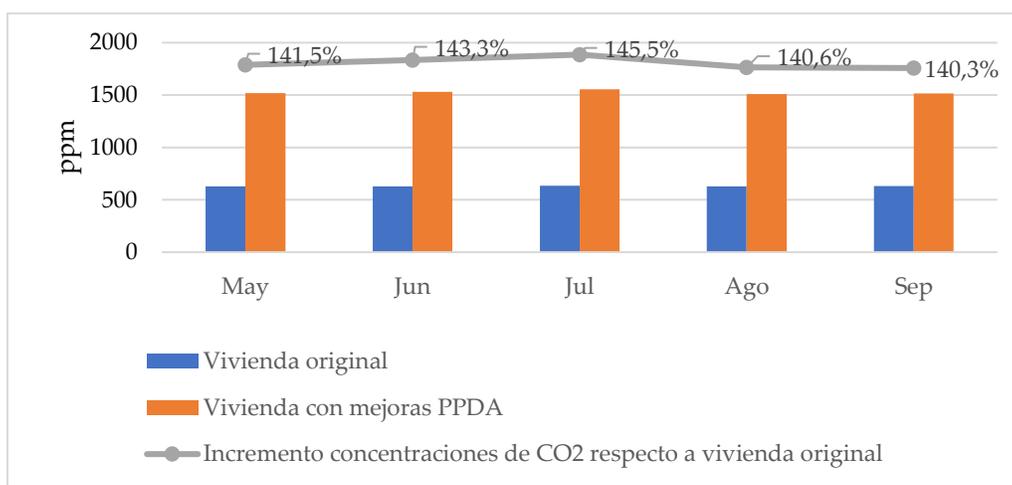


Figura 5.19. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 3 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal

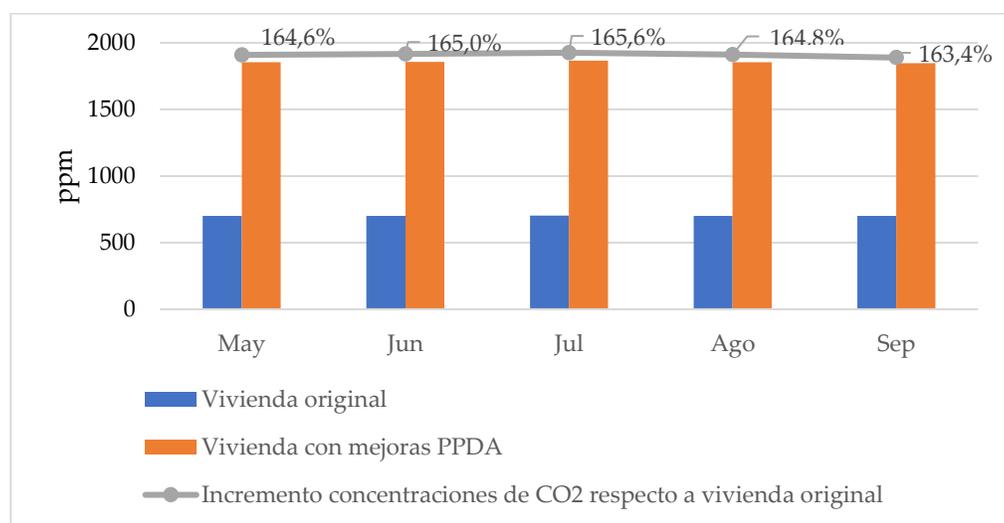


Figura 5.20. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 3 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento

## Capítulo 5. Resultados

### 5.5 Caso 4 Vivienda tipo conjunto habitacional Barrio Sustentable

#### 5.5.1 Evaluación en estado original de la vivienda

El caso Barrio Sustentable cuenta con un sistema constructivo poco tradicional en Chile, por lo cual se consideró dentro de la categoría “otros tipos de materialidades”, según valores de línea base de hermeticidad de la vivienda, indicados en Tabla 3.6. Los resultados obtenidos para la vivienda original corresponden a niveles de concentración de CO<sub>2</sub> sobre las 900 ppm pero bajo la línea de los 1600 ppm, tanto en régimen de uso normal como en confinamiento (ver Figura 5.22). En cuanto a la variación por régimen de uso, el periodo de confinamiento presenta un 17% aproximado de incremento del contaminante en los meses evaluados, respecto al régimen de uso normal (ver Figura 5.22).



Figura 5.21: Diseño en Design Builder de modelo de simulación de vivienda conjunto Barrio Sustentable

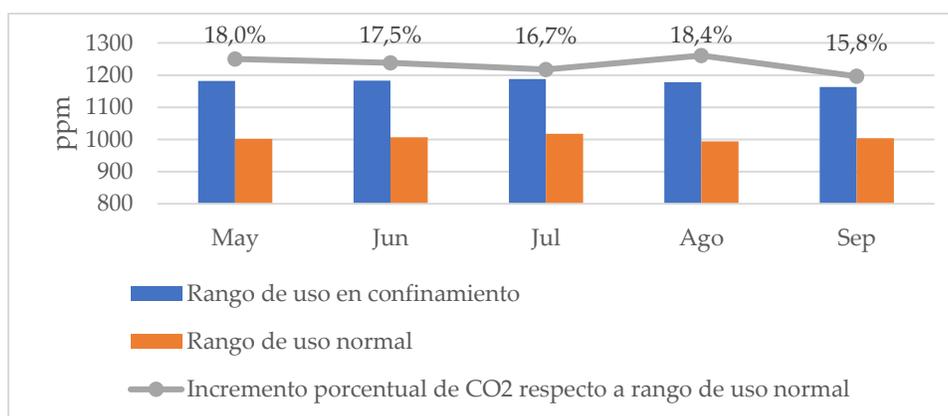


Figura 5.22. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda original de caso 4 en régimen de uso normal y en confinamiento

#### 5.5.2 Evaluación de la vivienda con mejoras según exigencias PPDA

El estado original del caso 4, cuyas características se presentan en Tabla 3.4, cuenta con valores de transmitancia térmica de muros y ventanas termopanel que cumplen con exigencias PPDA, por lo cual se debieron ajustar solución de techumbre, puertas, sobrecimiento e infiltraciones de aire. Los ajustes realizados dieron como resultado los valores de concentración que se muestran en la Figura 5.23 Figura 5.19, teniendo tasas límites de CO<sub>2</sub> que bordean las 1600 ppm para uso en régimen normal y cercanas a las 2000 ppm para uso en confinamiento. La variación porcentual por escenarios de ocupación muestra que el incremento producto del confinamiento es de cerca del 20% promedio mensual, respecto al uso normal de la vivienda.

## Capítulo 5. Resultados

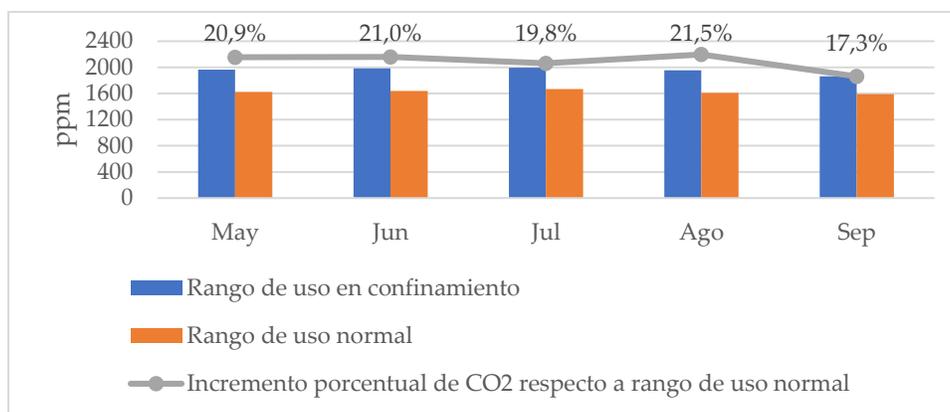


Figura 5.23. Variación concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm para vivienda caso 4 con mejoras PPDA en régimen de uso normal y en confinamiento

### 5.5.3 Evaluación comparativa de los escenarios simulados

El caso 4, al igual que el resto de las viviendas analizadas, mantiene la misma tendencia de incremento en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, al comparar los escenarios de ocupación normal y en confinamiento de la vivienda, tanto para su estado original como mejorado. La 5.24 muestra los resultados de concentración del contaminante en ppm del escenario de ocupación normal, simulado para la vivienda con envolvente original y con mejoras PPDA, evidenciando un incremento entre estos de más de un 60% promedio. Por otra parte, en la Figura 5.25 se muestra este mismo contraste, pero a partir del escenario de uso de la vivienda en confinamiento; los resultados muestran un aumento porcentual similar al escenario de ocupación normal, es decir, incrementos en más de un 60%, pero cuya variación implica una exposición de los usuarios a concentraciones de CO<sub>2</sub> riesgosas para su salud.

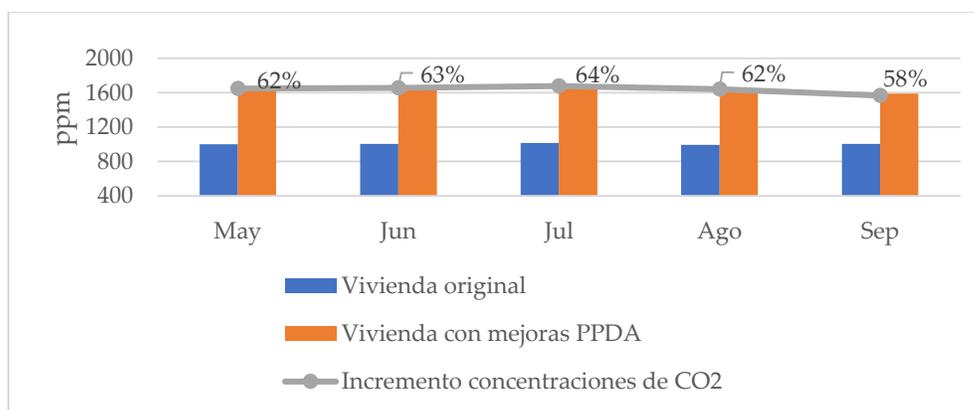


Figura 5.24. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 4 original y con mejoras PPDA en régimen de uso normal

## Capítulo 5. Resultados

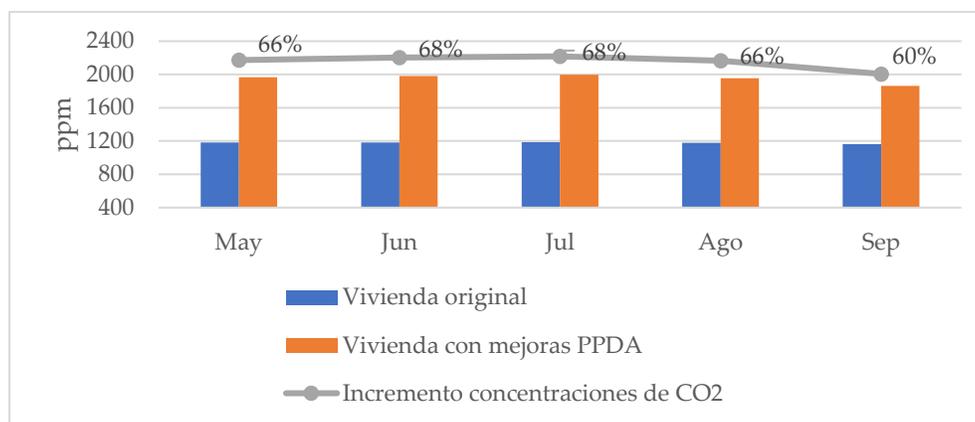


Figura 5.25. Comparación variación de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm entre vivienda caso 4 original y con mejoras PPDA en régimen de uso en confinamiento

### 5.6 Resultados simulación de concentraciones de CO<sub>2</sub> por recintos

Se simularon los niveles de CO<sub>2</sub> para recintos dormitorios y estar – comedor en periodos horarios de uso a capacidad completa, según criterios de diseño indicados en apartado 4.1. En dormitorios se analizó horario de periodo de sueño entre las 00:00 y 08:00 con dos ocupantes para cada uno de los recintos (dormitorio 1 y dormitorio 2). Para estar comedor se analizó en días de semana considerando 2 horas de uso simultáneo, es decir, con 4 ocupantes, entre las 20:00 y 21:00 hrs. Para fines de semana se analizaron 4 horas de uso simultáneo entre las 12:00 y 15:00.

#### 5.6.1 Recintos caso 1

**Dormitorios:** el dormitorio 1 hasta las 04:00 hrs presenta diferenciales en niveles de CO<sub>2</sub> entre envolvente original y PPDA inferiores a las 400 ppm. Pasada esta hora las concentraciones comienzan a elevarse, llegando a un peak de incremento de un 46%, equivalente a más de 1300 ppm de diferencia entre caso original versus PPDA (ver Figura 5.26). El dormitorio 2, por su parte, hasta las 03:00 mantiene diferenciales bajo las 400 ppm, luego de esta hora comienzan a incrementarse los niveles de CO<sub>2</sub> hasta alcanzar diferenciales de más de un 50% (ver Figura 5.27).

### Capítulo 5. Resultados

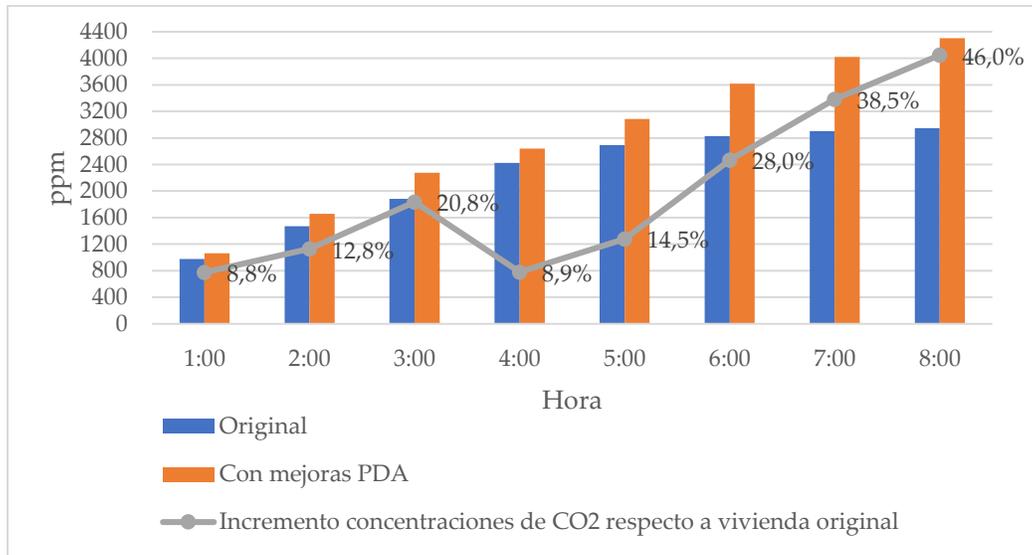


Figura 5.26. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 1, con envoltente original y con mejoras PPDA

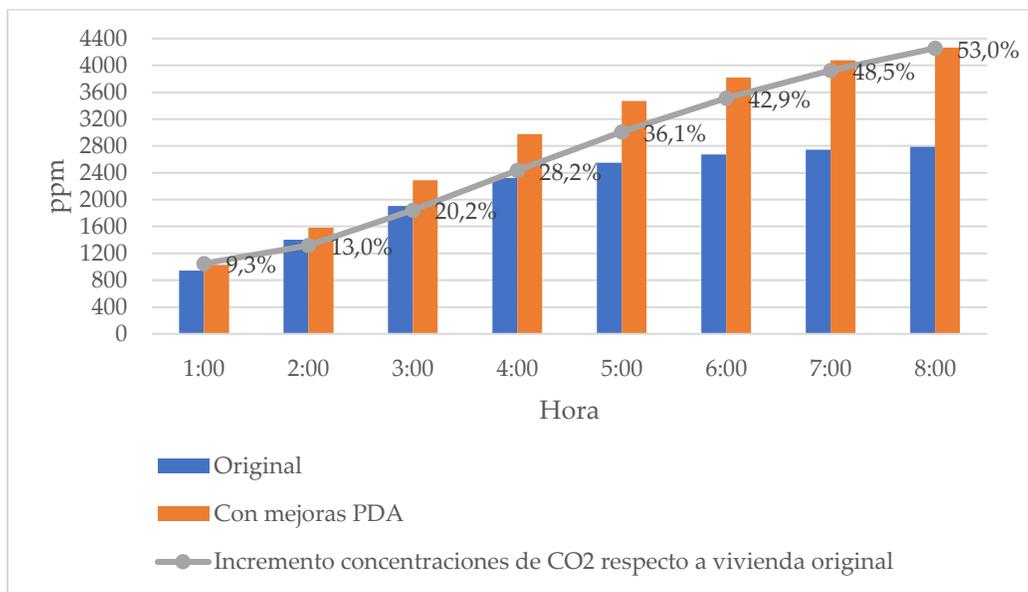


Figura 5.27. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 2, con envoltente original y con mejoras PPDA

**Estar-comedor:** durante días de semana, al fin de las dos horas de uso simultáneo del recinto las concentraciones de CO<sub>2</sub> no superan las 1500 ppm (ver Figura 5.29) y en fines de semana los máximos alcanzados superan levemente las 1900 ppm (ver Figura 5.28); en ambos casos, durante las horas de uso, los diferenciales entre vivienda original y con mejoras PPDA no superan el 14%.

## Capítulo 5. Resultados

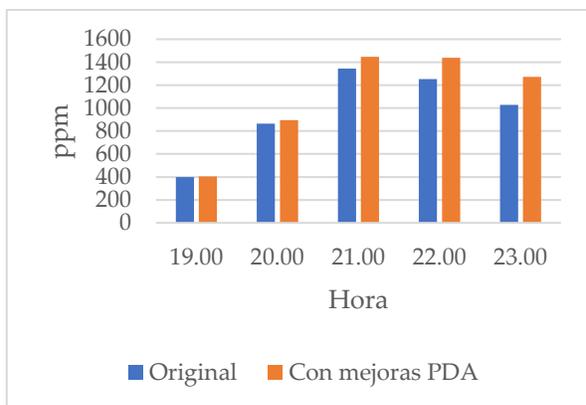


Figura 5.29. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana

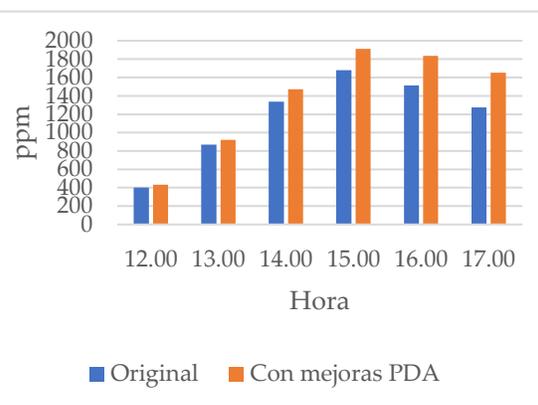


Figura 5.28. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana

### 5.6.2 Recintos caso 2

**Dormitorios** (ver Figura 5.30 y Figura 5.31): los recintos en su estado original presentan concentraciones de CO<sub>2</sub> que van desde las 900 ppm hasta alcanzar cerca de las 1900 ppm a las 08:00 hrs. Para los recintos con mejoras PPDA los niveles del contaminante van desde las 1000 ppm aproximadamente y a las 08:00 hrs se superan las 4600 ppm. Los diferenciales entre recinto original versus recinto mejorado, por horario, alcanza un peak que supera el 170% de incremento de CO<sub>2</sub>.

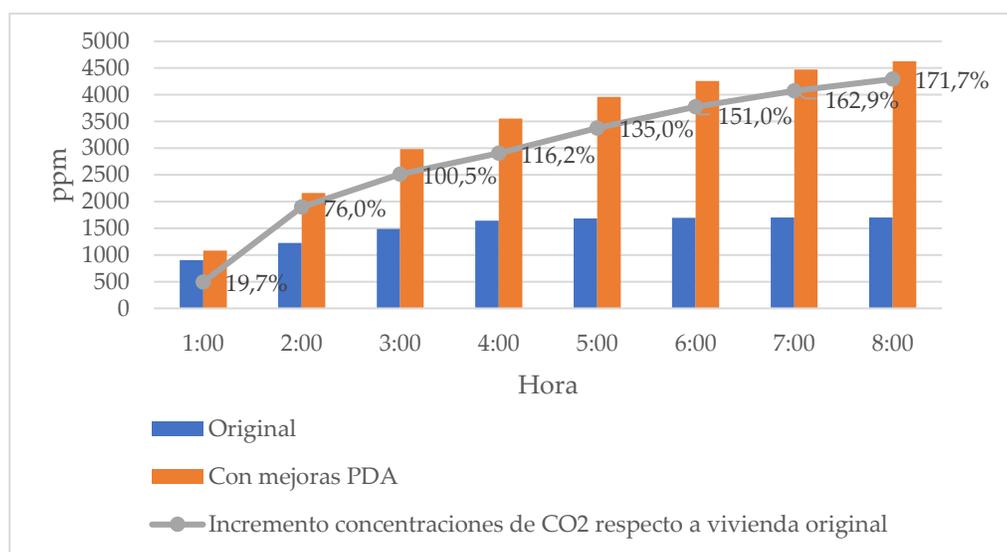


Figura 5.30. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 1, con envoltente original y con mejoras PPDA

## Capítulo 5. Resultados

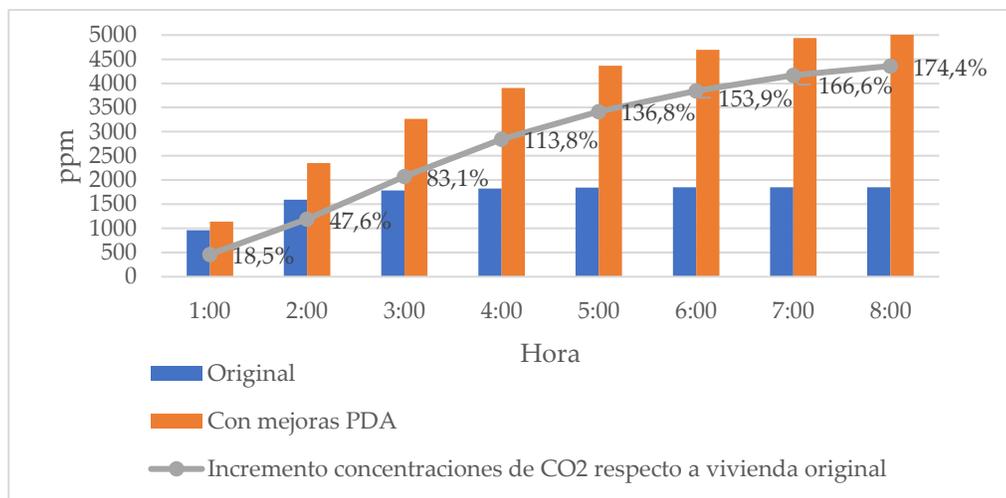


Figura 5.31. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 2, con envoltente original y con mejoras PPDA

**Estar-comedor** (ver Figura 5.32 y Figura 5.33): para el recinto en su estado original, las estancias simultáneas tanto en días de semana como fines de semana se encuentran en niveles bajo las 1600 ppm, por otra parte, el caso con mejoras PPDA presenta niveles similares para días de semana, pero en fines de semana las concentraciones se elevan a más de 2200 ppm.

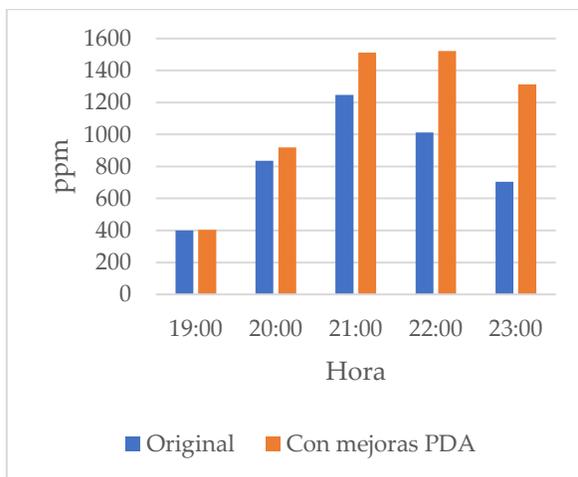


Figura 5.33. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana

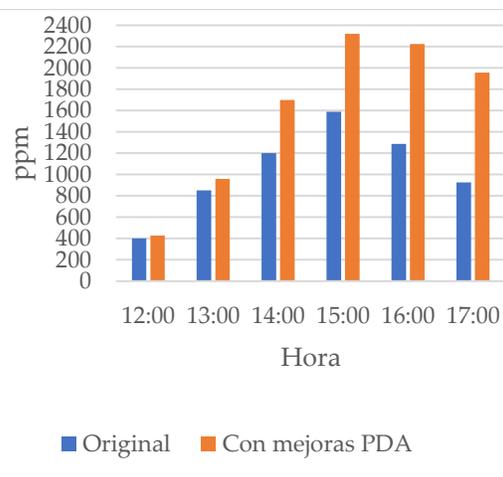


Figura 5.32. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana

### 5.6.3 Recintos caso 3

**Dormitorios** (ver Figura 5.34 y Figura 5.35): estos recintos del conjunto Paso Seco IV, corresponden al caso con mayor porcentaje de aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, teniendo para ambos dormitorios en su estado original niveles iniciales de 900 ppm aproximados en el aire

## Capítulo 5. Resultados

interior, elevándose hasta las 1450 ppm promedio, es decir, se presenta un incremento cercano al 60%. En cuanto a los recintos con mejora PPDA este diferencial durante el transcurso del periodo de sueño pasa de las 960 ppm a las 4800 ppm promedio, es decir, se aumenta en un 400% los niveles del contaminante. Esta considerable alza en caso PPDA estaría relacionado al cambio en los niveles de hermeticidad de la vivienda.

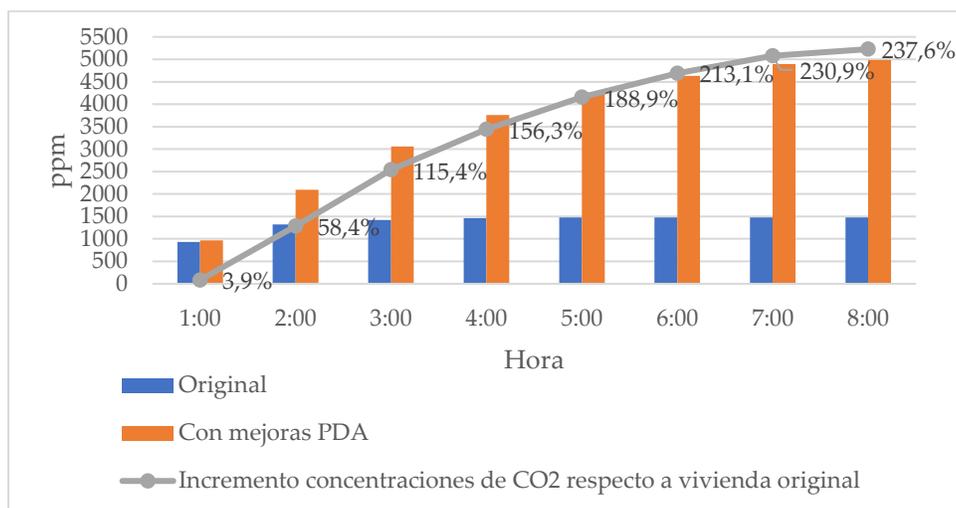


Figura 5.34. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 1, con envoltente original y con mejoras PPDA

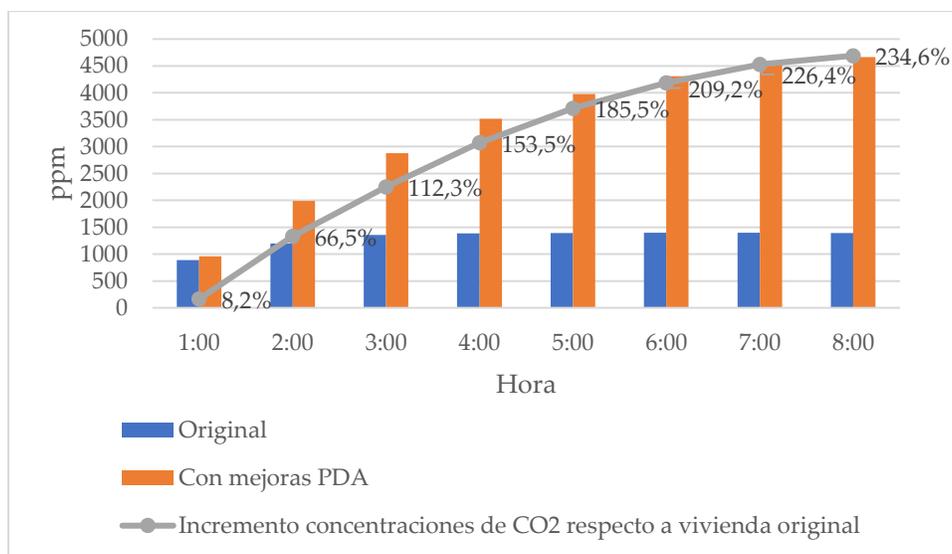


Figura 5.35. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 2, con envoltente original y con mejoras PPDA

**Estar-comedor** (ver Figura 5.36 y Figura 5.37): los resultados obtenidos para las estancias simultáneas del caso 3 reflejan que la vivienda sin mejoras térmicas presenta horas con concentraciones de CO<sub>2</sub> bajo 1600 ppm; por su parte, la incorporación de mejoras genera que el

## Capítulo 5. Resultados

recinto tenga horas con niveles de CO<sub>2</sub> bajo 1600 ppm en días de semana, pero sobre las 2000 ppm durante horas de fin de semana.

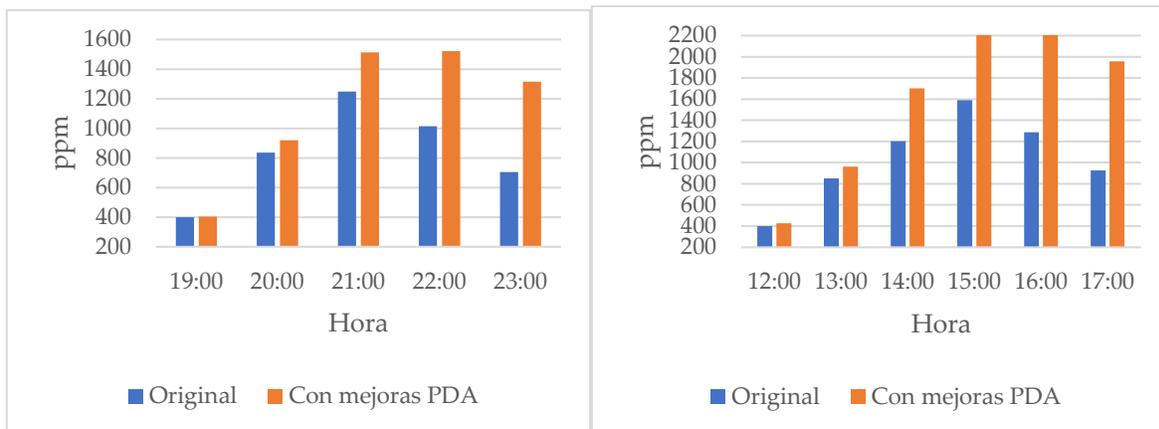


Figura 5.37. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana

Figura 5.36. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana

### 5.6.4 Recintos caso 4

**Dormitorios** (ver Figura 5.38 y Figura 5.39): El dormitorio 1 y 2 de la vivienda del caso 4 presentan altos niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire interior, tanto en estado original como con mejoras PPDA. En estado original los recintos alcanzan a las 08:00 concentraciones de hasta 2400 ppm y 2900 ppm aproximadamente (para vivienda original), mientras que con la incorporación de mejoras el dormitorio 1 eleva sus concentraciones hasta las 4000 ppm y el dormitorio 2 cercana a las 5000 ppm. El diferencial máximo de concentraciones del contaminante, entre estado original y PPDA, se alcanza a las 08:00 hrs en dormitorio 2, presentando un alza de más de un 70%.

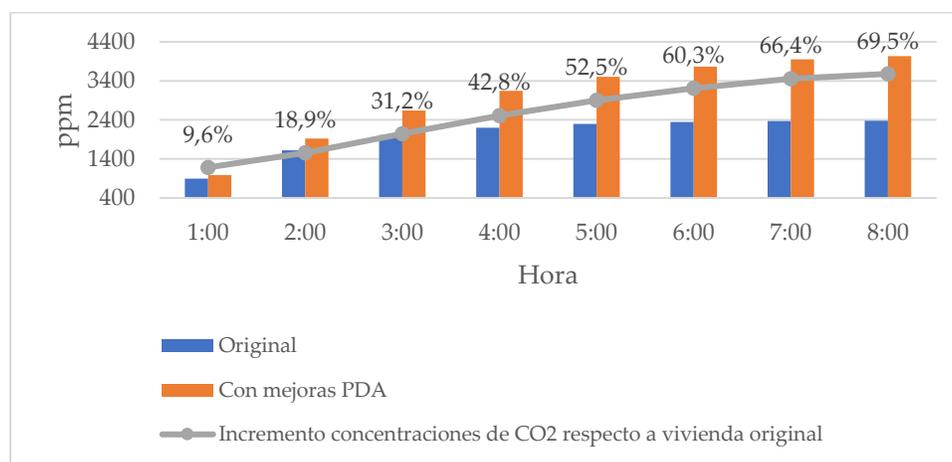


Figura 5.38. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 1, con envoltente original y con mejoras PPDA

## Capítulo 5. Resultados

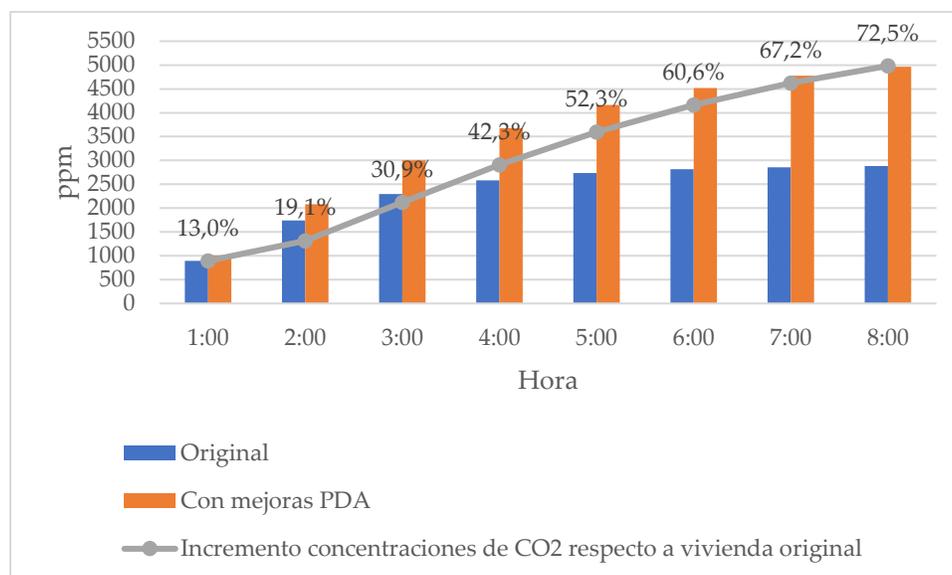


Figura 5.39. Concentraciones de CO<sub>2</sub> en dormitorio 2, con envoltente original y con mejoras PPDA

**Estar-comedor** (ver Figura 5.40 y Figura 5.41): del caso 4, las estancias simultáneas durante días de semana alcanzan valores límites de 1600 ppm tanto para el recinto mejorado como original, mientras que, para estancias de fin de semana, ambas condiciones de envoltente generan concentraciones de CO<sub>2</sub> sobre las 2000 ppm.

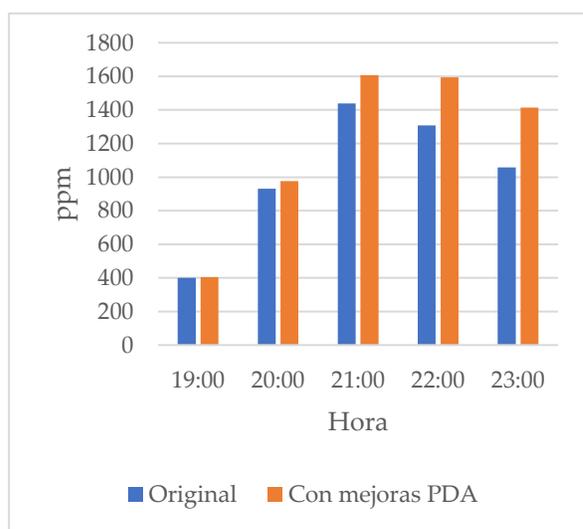


Figura 5.41. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de semana

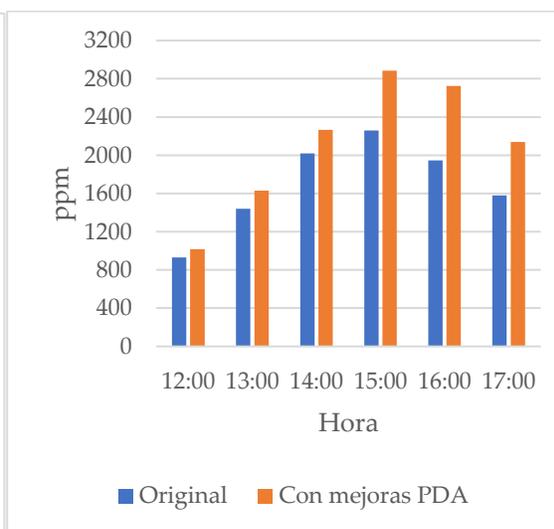


Figura 5.40. Concentraciones de CO<sub>2</sub> durante estancias simultáneas en estar-comedor en días de fin de semana

## Capítulo 5. Resultados

### 5.7 Resultados concentración de CO<sub>2</sub> interior por variación en niveles de hermeticidad al aire en casos de estudio

Durante la fase de simulación y evaluación de concentraciones de CO<sub>2</sub> expuestas en puntos 5.1 a 5.6 anteriores, se pudo visualizar que el principal factor incidente en los resultados obtenidos estaría relacionado a la capacidad de la envolvente de oponerse a las infiltraciones de aire, es decir a las tasas de infiltración a 50 Pa que presenta o se le asignan a los casos estudiados. Para comprender de mejor manera cómo afectó esta variable en los niveles de concentración del contaminante se simularon, para los cuatro casos en estudio, escenarios de ocupación normal y en confinamiento con distintas tasas de hermeticidad de la vivienda; las que fluctuaron entre 3 Y 27 cambios de aire por hora.

La Figura 5.42 muestra los resultados obtenidos de las simulaciones de los casos de estudio bajo escenario de ocupación normal, de ello se observa que las concentraciones de CO<sub>2</sub> para tasas de infiltración entre las 9 y 27 renovaciones, tienden a mantenerse dentro del rango de las 500 – 1200 ppm, no presentando alzas mayores al 15% entre valores de hermeticidad consecutivas, sin embargo, hacia las tasas de infiltración más bajas, es decir, entre 3 y 9, se producen alzas considerables: al pasar, por ejemplo, de 7 a 5 renovaciones aire por hora el incremento es de un 30% aproximado, y de 5 a 3 tasas de infiltración los niveles de CO<sub>2</sub> se aumentan en más de un 50%. Además, se constata que en hasta 13 renovaciones aire hora es posible encontrarse dentro de la media límite de las 900 ppm para los cuatro casos analizados.

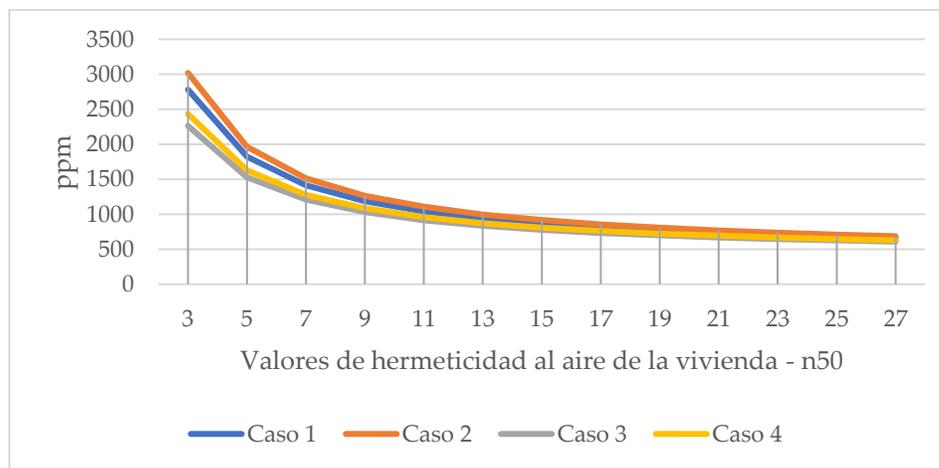


Figura 5.42. Concentración de CO<sub>2</sub> en ppm según valor de hermeticidad al aire de la vivienda, para régimen de uso normal

Para el escenario de uso en confinamiento (ver Figura 5.43) los resultados presentan una tendencia similar a la anterior, generándose concentraciones que van desde las 500 y 1200 ppm

## Capítulo 5. Resultados

promedio de CO<sub>2</sub> para tasas de infiltración entre 11 y 27. Hacia las tasas de infiltración más bajas, los niveles de CO<sub>2</sub> se incrementan en un 30% al pasar de 7 a 5 renovaciones y en más de un 50% al reducir de 5 a 3 renovaciones de aire; llegando a niveles de más 3700 ppm para algunos de los casos estudiados.

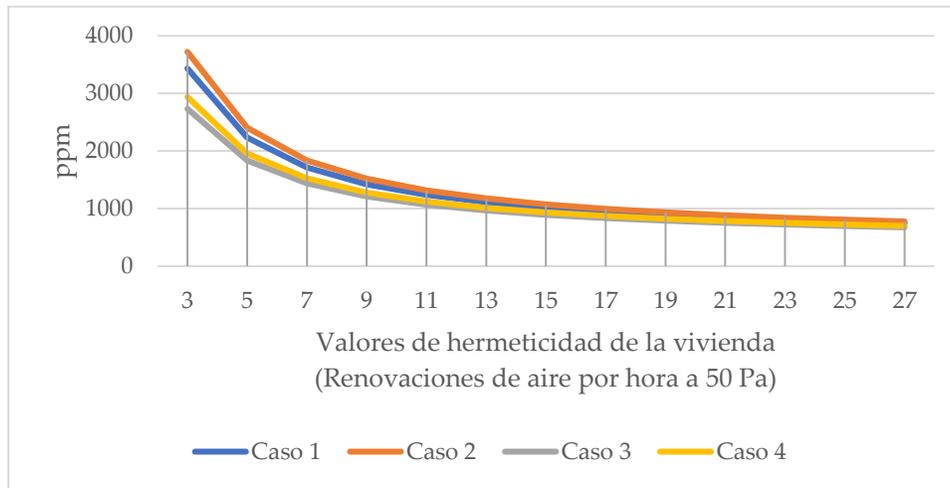


Figura 5.43. Concentración de CO<sub>2</sub> en ppm según valor de hermeticidad al aire de la vivienda, para régimen de uso en confinamiento

### 5.8 Resultados concentración de CO<sub>2</sub> interior por variación en niveles de hermeticidad al aire y número de ocupantes en casos de estudio

#### 5.8.1 Evaluación casos en régimen de uso normal

Las figuras Figura 5.44, Figura 5.45, Figura 5.46 y Figura 5.47 muestran los resultados obtenidos de variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> para la vivienda en régimen de uso normal, considerando 3, 4, 5 y 6 ocupantes al interior de ella, en combinación con diferentes niveles de hermeticidad de la vivienda. Evidentemente, para los cuatro casos estudiados se produce un aumento en los niveles del contaminante en el aire interior, producido por el incremento en el número de ocupantes en el recinto, sin embargo, a bajos niveles de hermeticidad esta alza no tiende a ser proporcional a la cantidad de personas que se añaden, pues, a una tasa de 3 renovaciones aire hora pasar de 3 a 4 ocupantes aumenta las concentraciones de CO<sub>2</sub> en un 26,6%, de 4 a 5 personas en un 20% y de 5 a 6 en un 16,5%; como promedio en los cuatro casos evaluados.

## Capítulo 5. Resultados

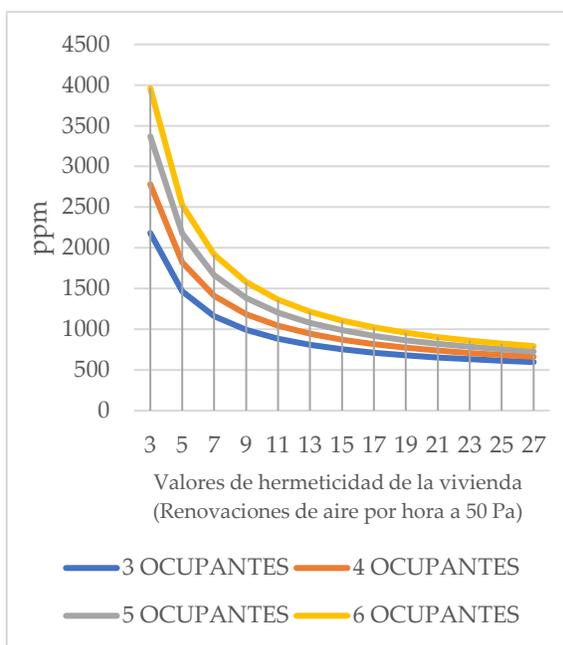


Figura 5.45. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 1

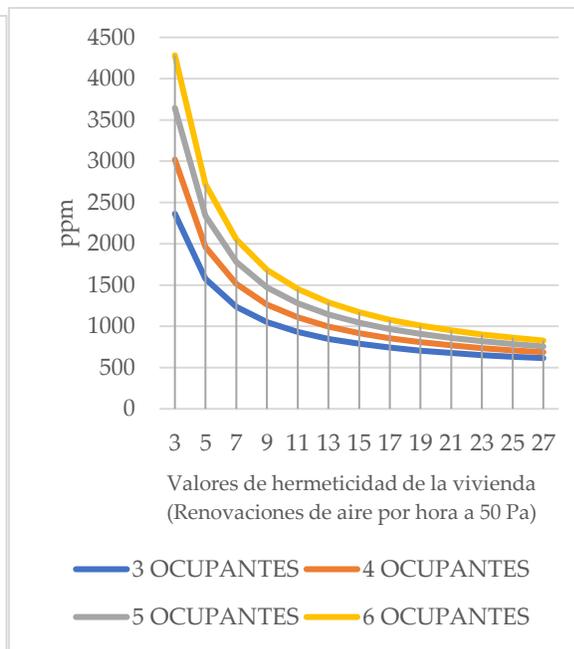


Figura 5.44. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 2

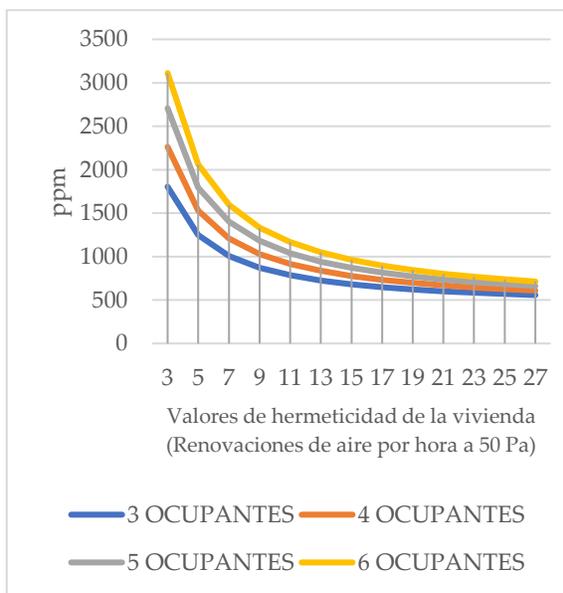


Figura 5.47. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 3

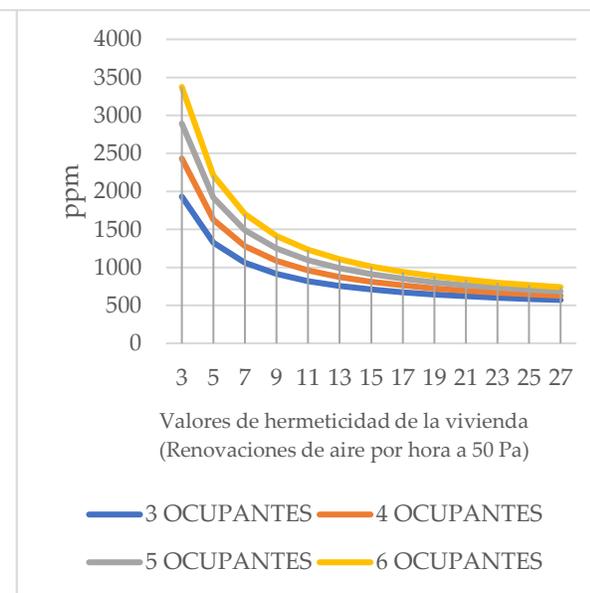


Figura 5.46. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda - caso 4

## Capítulo 5. Resultados

### 5.8.2 Evaluación casos en régimen de uso en confinamiento

Las Figura 5.48, Figura 5.49, Figura 5.50 y Figura 5.51 muestran los valores obtenidos para niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en régimen de uso en confinamiento, variando número de ocupantes y niveles de hermeticidad de los cuatro casos estudiados. Los resultados muestran que los niveles de concentración se elevan paulatinamente entre las 11 y 27 renovaciones de aire asignados, mientras que al descender las tasas de infiltración los incrementos comienzan a ser sustanciales; por ejemplo, al reducir de 5 a 3 las tasas de infiltración, los niveles de concentración se incrementan desde las 500 ppm para 3 ocupantes y en más 1000 ppm para la misma condición, pero con 6 ocupantes en su interior, teniendo viviendas como es el caso 2, en la cual este aumento ronda las 2000 ppm. En cuanto al cumplimiento de concentraciones bajo las 900 ppm los cuatro casos lo cumplen, principalmente en los niveles de hermeticidad más altos y con el menor número de ocupantes, sin embargo, en tasas bajo 13 renovaciones las concentraciones se elevan sobre el parámetro, quedando fuera del rango admisible.

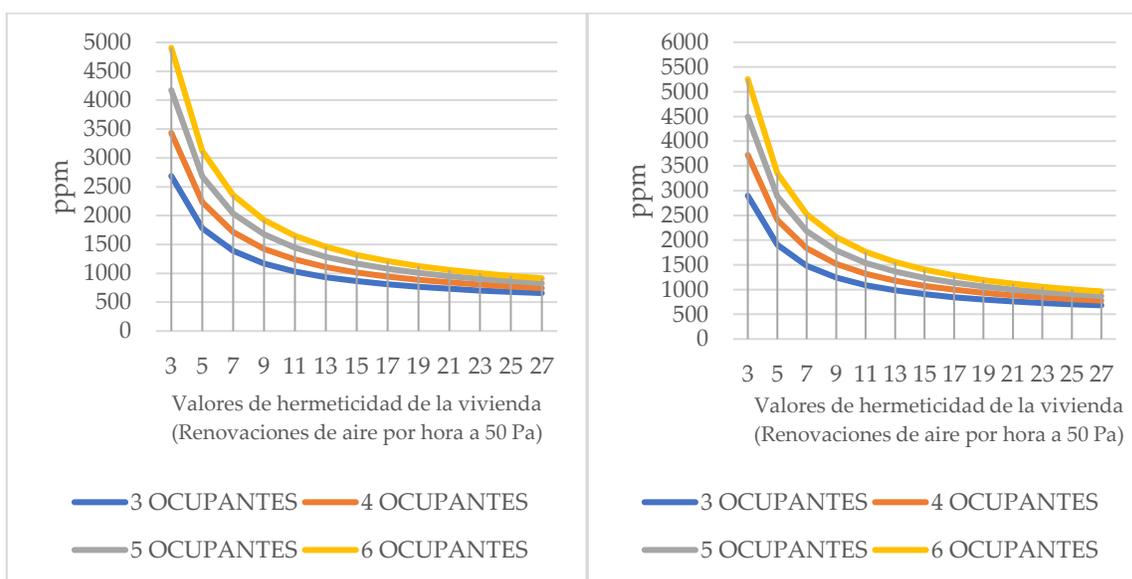


Figura 5.49. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 1

Figura 5.48. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 2

## Capítulo 5. Resultados

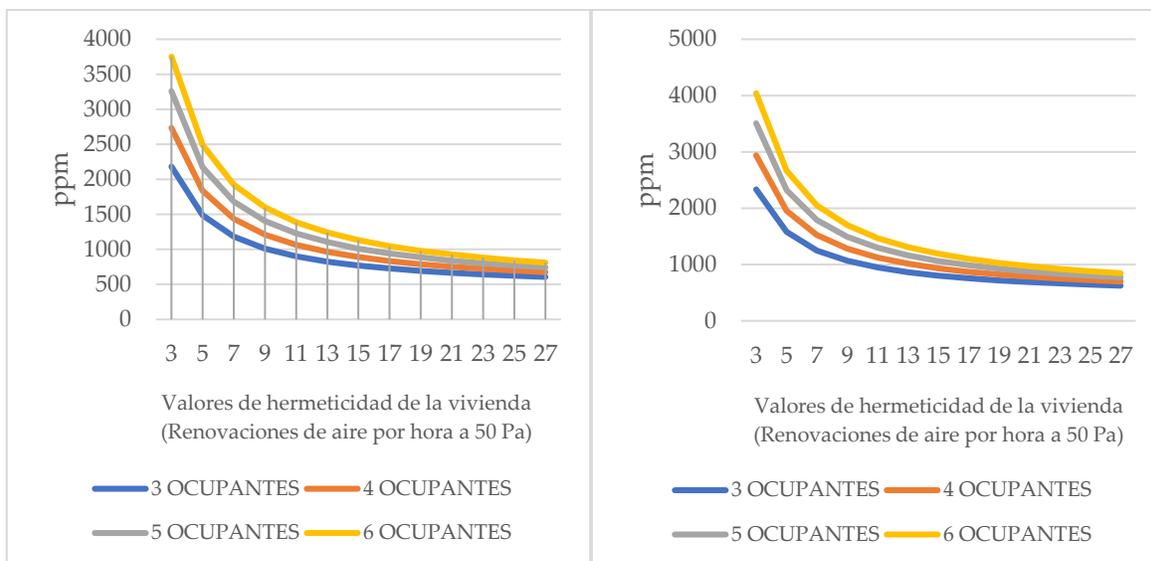


Figura 5.51. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 3

Figura 5.50. Variación en las concentraciones de CO<sub>2</sub> respecto al número de ocupantes y nivel de hermeticidad de la vivienda – caso 4

Al comparar los resultados de concentración de CO<sub>2</sub> se obtuvo que, para los diferentes escenarios, variando número de ocupantes y tasas de infiltración, el régimen de uso en confinamiento presenta alzas en los niveles del contaminante respecto al uso normal que van desde un 10% para los niveles de hermeticidad más altos y cercanos al 23% para los niveles de hermeticidad más bajos; la Figura 5.52, Figura 5.53, Figura 5.55 y Figura 5.54 muestran estas variaciones porcentuales.

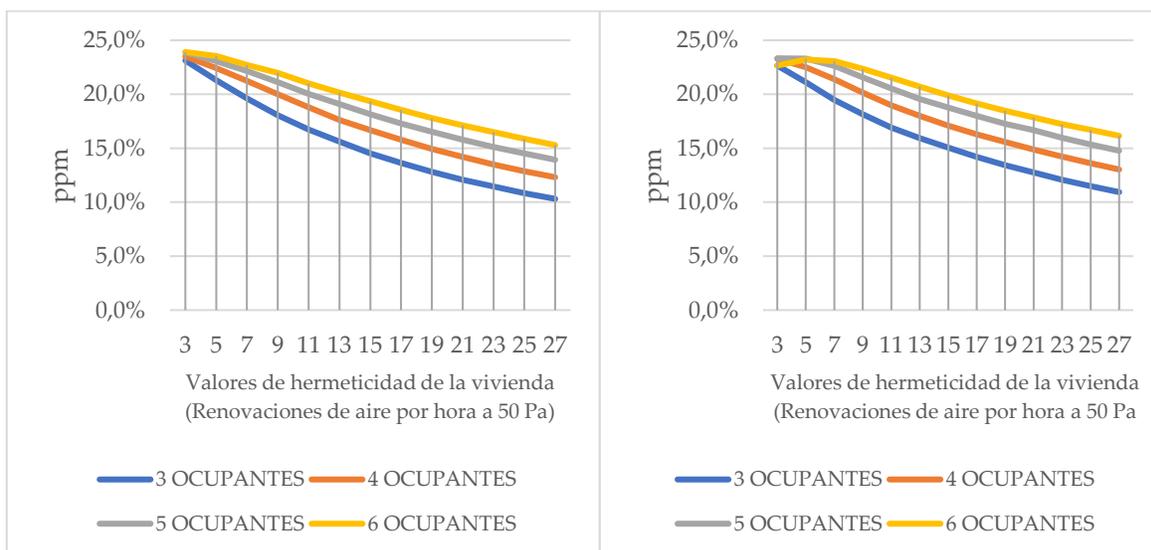


Figura 5.53. Incremento porcentual de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 1

Figura 5.52. Incremento porcentual de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 2

### Capítulo 5. Resultados

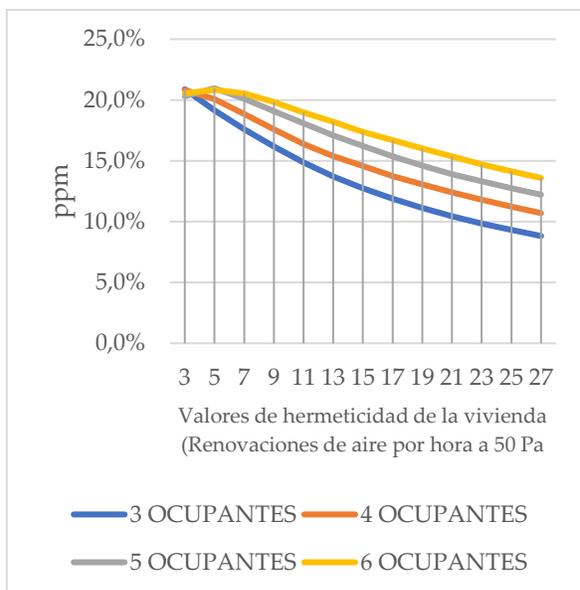


Figura 5.55. Incremento porcentual de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 3

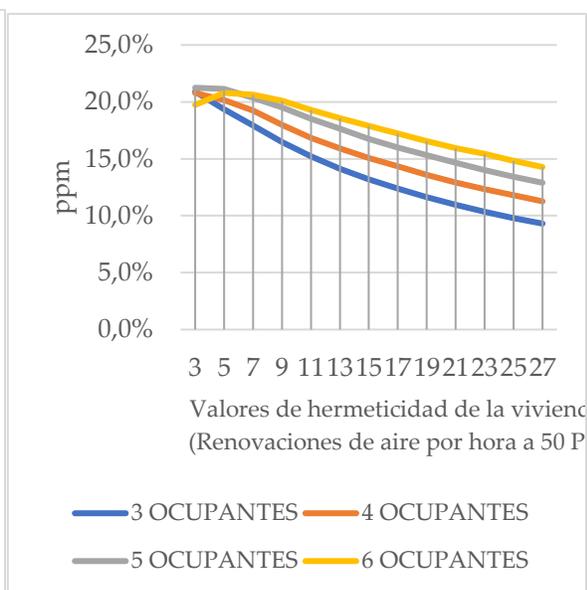


Figura 5.54. Incremento porcentual de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de la vivienda en confinamiento, respecto a uso normal – Caso 4

## Capítulo 6. Conclusiones

### Capítulo 6. Conclusiones

El presente informe muestra los resultados obtenidos del trabajo de investigación desarrollado, que consistió en analizar por medio simulación y modelación los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> interior en viviendas de tipo social, esto ante la variación de características de la envolvente y de los escenarios de ocupación producto de la pandemia por Covid-19.

Los cuatro casos seleccionados presentaban diversas soluciones de envolvente, cuyos valores de transmitancia térmica (U) y/o Resistencia térmica (R100) de los materiales aislantes sobrepasaban los mínimos definidos y exigidos por el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C., tanto para el complejo de techumbre, como en muros y pisos ventilados. Durante la adaptación de las envolventes a criterios PPDA para la fase de simulaciones, se pudo evidenciar que el caso 2 cumple con las exigencias térmicas mínimas para muros y techumbre, así como también, los casos 3 y 4 lo hacen para muros. Desde el punto de vista térmico, los casos seleccionados presentan soluciones de envolventes con mejoras considerables respecto a la base normativa vigente durante su fase de diseño y construcción; lo que refleja la relevancia y el importante interés proyectado para la generación de recintos habitables con criterios de sustentabilidad y confort interior.

La etapa inicial de simulación, correspondiente al análisis del caso base, permitió definir un panorama general de la incidencia de la hermeticidad y los regímenes de ocupación en las tasas de CO<sub>2</sub>. Así, se obtuvo que el confinamiento en la vivienda genera un alza promedio de un 11% en las concentraciones cuando la envolvente cumple con criterios O.G.U.C, y a pesar del alza generada, los niveles de CO<sub>2</sub> se mantuvieron bajo las 900 ppm; cumpliendo con los requerimientos de concentración definidos en el DB HS. Para el caso con mejoras PPDA, el cambio de uso normal a confinamiento generó un alza de más de un 19%, y en ambos escenarios de ocupación se sobrepasa el límite de las 900 ppm, llegando a concentraciones interiores de más de 2200 ppm. Al comparar los niveles de CO<sub>2</sub> obtenidos en las simulaciones de los dos tipos de envolvente, aquella con criterios PPDA aumentó sus concentraciones en más 230% respecto a la vivienda con envolvente O.G.U.C; alza relacionada directamente a las diferencias en las tasas de infiltración asignadas para cada una de ellas.

De los cuatro casos de estudio, se centraron las simulaciones y análisis en tres categorías: análisis promedio mensual de las concentraciones de CO<sub>2</sub> para los distintos escenarios de ocupación, análisis bajo variación de niveles de hermeticidad y número de ocupantes, y análisis por recinto.

## Capítulo 6. Conclusiones

La primera fase de simulaciones permitió evidenciar que en régimen de uso normal y con las condiciones originales de la vivienda los casos 2 y 3 mantienen concentraciones bajo el promedio de las 900 ppm, mientras que el caso 1 y 4 superan esta cifra en poco más de un 10%. Al analizar los recintos bajo un escenario de uso en confinamiento las cifras se elevan y únicamente el caso 3 se mantiene bajo el rango de las 900 ppm; esta situación se da producto de que corresponde a un sistema constructivo de madera y la línea base de hermeticidad contempla una alta tasa de infiltraciones, por lo cual se genera un flujo de aire no controlado que permite mantener en niveles tolerables la presencia del contaminante al interior. Al incorporar las estrategias PPDA a los casos y, principalmente, al reducir a cinco las tasas de infiltración de aire de la envolvente, las cifras de concentración de CO<sub>2</sub> se incrementan considerablemente, teniendo para escenarios de uso en confinamiento un alza de un 59% para el caso 1, 150% para el caso 2, 165% para el caso 3 y un 66% para el caso 4; la preocupante alza obtenida para el caso 2 y 3 se debe principalmente al delta en las tasas de infiltración entre la vivienda original y la mejorada.

Los resultados obtenidos durante la primera fase de simulaciones no permiten generar un panorama representativo del impacto que tiene la hermeticidad y los cambios de uso y ocupación de la vivienda en los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire interior, ya que, si bien se asignaron las mismas condiciones de borde, la disparidad en las tasas de infiltración genera resultados complejos de comparar.

En la segunda fase de simulaciones correspondiente al análisis por recinto, se constató que el punto más crítico estaría en la ocupación de los dormitorios, esto debido al reducido espacio con los que estos cuentan y al número ocupantes presentes por un periodo extendido, llegando a más de 5000 ppm para dormitorios del caso 2 y 3, por ejemplo. Los altos niveles de presencia del contaminante, obtenidos para los diferentes casos, exceden el acumulado anual definido en el DB HS, esto quiere decir que las concentraciones de CO<sub>2</sub> sobre 1600 ppm son superiores a las 500.000 ppm\*h. De los recintos de uso simultáneo se obtuvieron concentraciones sobre el promedio de las 900 ppm, llegando en días de semana a 1600 ppm y en fines de semana hasta 2900 ppm en el caso más crítico.

La tercera fase de simulaciones permitió evidenciar ciertas tendencias al momento de ajustar las tasas de infiltración en los diferentes casos, entre ellas se destaca que a tasas de infiltración altas, es decir, entre 11 y 27 renovaciones de aire por hora, los diferenciales de CO<sub>2</sub> entre valores consecutivos analizados se incrementa de manera paulatina; a medida que se reducen los niveles de infiltración se tienen alzas que van desde un 3% (correspondiente al diferencial de

## Capítulo 6. Conclusiones

concentración de CO<sub>2</sub> al pasar de 27 y 25 renovaciones de aire) hasta menos de un 12% (correspondiente al diferencial de CO<sub>2</sub> al reducir de 13 a 11 tasas de infiltración). Para las tasas de renovación más bajas, las alzas se incrementan casi de manera exponencial, siendo el más crítico la reducción de 7 a 5 renovaciones de aire, el cual genera un aumento en más de un 27% en los niveles de concentración del contaminante y el paso de 5 a 3, en el cual eleva la presencia de CO<sub>2</sub> en más de un 48%. De estos casos, al comparar el impacto de los escenarios de ocupación, se obtuvo que, a una misma tasa de infiltración, el cambio de uso normal a confinamiento en el hogar presenta aumentos en las concentraciones de CO<sub>2</sub> que van desde un 10% a un 24%; siendo los porcentajes de diferencial más altos aquellos asociados a simulaciones con menores tasas de infiltración. En cuanto al cumplimiento del parámetro, ante el escenario de uso normal los cuatro casos presentan concentraciones bajo las 900 ppm cuando se tiene entre 17 y 27 renovaciones de aire, mientras que en confinamiento ocurre entre las 21 y 27 renovaciones.

Respecto al impacto por la variación del número de ocupantes se observó que el paso de 3 a 4 ocupantes genera un aumento mayor en las concentraciones que el cambio de 5 a 6; en promedio los niveles del contaminante incrementaron en un 27% y un 15% respectivamente, ante escenario de uso normal y en confinamiento.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación permitieron cuantificar el impacto que el confinamiento producto del Covid-19 puede generar sobre la calidad del aire interior de la vivienda de tipo social, estimando en alrededor de un 16,4% el alza promedio en las concentraciones de CO<sub>2</sub> producto de la mayor permanencia al interior del hogar. Así también, los dormitorios resultaron ser los recintos con mayor exposición a ambientes insalubres, debido a que sus ocupantes permanecen por extendidas horas al interior de ellos y son el área donde se generaron las más altas concentraciones del contaminante.

De manera general, el paso de 13 renovaciones de aire por hora<sup>5</sup> a las 5 renovaciones establecidas en los PPDA conlleva a un alza de más de un 83% en las concentraciones considerando escenario de uso normal y de un 97% en periodos de confinamiento.

De lo anterior, es posible verificar el cumplimiento de la hipótesis, ya que ante el confinamiento y a condiciones constructivas con bajos niveles de hermeticidad, los valores de concentración de CO<sub>2</sub> tienden a mantenerse bajo las 900 ppm límite, mientras que al mejorar esta

---

<sup>5</sup>Valor n50 aproximado, estimado para las viviendas en Chile según el Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones

## Capítulo 6. Conclusiones

condición y al reducir las infiltraciones según PPDA, los niveles de CO<sub>2</sub> se elevan mucho más allá de las 1600 ppm.

La relevancia de un buen diseño y un sistema de ventilación que responda a las reales necesidades de las familias chilenas y a los cambios que puedan generarse en la ocupación de los hogares a causa de factores no previstos (como el confinamiento por COVID-19), es decir, que aporten caudales de ventilación suficientes para remover las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> que pueden generarse al interior de la vivienda, resultan ser la clave para contar con recintos herméticos pero confortables en todas las variables de habitabilidad asociadas. Recordemos que, hoy en día la tendencia es contar con recintos más eficientes, herméticos y que otorguen el confort adecuado para las distintas actividades que desarrollen sus ocupantes al interior de ella; lo que trae consigo múltiples beneficios a nivel medioambiental y económico, pero que, si no es analizado y estudiado con detención y a cabalidad, puede conllevar impactos negativos a nivel de salud de sus usuarios.

### 6.1. Futuras líneas de investigación

El trabajo desarrollado tiene un enfoque experimental, basado en simulaciones ante condiciones predefinidas, que se ajustan a criterios normativos, datos estadísticos e información obtenida de la literatura asociada, obteniendo de ello resultados estimativos, para cada uno de los casos y escenarios evaluados. Para futuras líneas de investigación es posible emplear la metodología para determinar requerimientos de ventilación en viviendas y cómo la capacidad de ventilación natural disponible incide o impacta sobre la calidad del aire, además de poder comprender como afectan otro tipo de indicadores como lo es la temperatura interior en estos recintos. De igual manera, es posible desarrollar un trabajo de campo enfocado en las mediciones insitu de los niveles de CO<sub>2</sub>, en las distintas tipologías de viviendas analizadas para esta investigación pudiendo, a partir de ello, verificar si las tendencias de variación de concentraciones del contaminante se asemejan a las obtenidas mediante el uso de software de simulación

## Bibliografía

## Bibliografía

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, I. (2007). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004. *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology - 3 Volume Set (Print Version)*, 2007, 50–62. <https://doi.org/10.1201/9780849338960.ch6>
- Berenguer Subils, M. J., & Martí Solé, M. C. (1987). NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 11. [https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824)
- Bustamante, W., Encinas, F., Martínez, P., Brahm, M., & Ibaceta, I. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social*. [http://old.acee.cl/576/articles-61341\\_doc\\_pdf.pdf](http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf)
- Centro de Estudios de Ciudad y Territorio. (2020). *Base de Datos sobre Vivienda Asequible en la OCDE*.
- CITEC-UBB. (2013). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. [www.cdt.cl](http://www.cdt.cl)
- Comisión Nacional de Energía Chile; Ministerio de Energía. (2016). Anuario Estadístico de Energía 2005-2015. In *Construction and Building Materials*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2019). Informe Final Uso de la Energía Hogares Chile 2018. In *Diciembre* 2019. [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe\\_final\\_caracterizacion\\_residencial\\_2018.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf)
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, C. (2020). *Condensación superficial*.
- Cortés, A., & Ridley, I. (2013). Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario: La ciudad de Temuco como caso de estudio. *Revista INVI*, 28(78), 257–271. <https://doi.org/10.4067/s0718-83582013000200008>
- Decreto 19, 1 (2020). <http://bcn.cl/2erjt>
- Díaz, M. (2015). *Evaluación de impacto de mejoras aplicadas a la hermeticidad al aire y aislación térmica para la verificación de la eficiencia energética mediante simulación térmica dinámica de dos viviendas tipo en Concepción, Chile*.
- Dirección General de Industria; Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. (2016). Guía de Calidad del Aire Interior. *Fenercom*, 186. [https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia\\_de\\_Calidad\\_del\\_Aire\\_Interior\\_fenercom\\_2016.pdf](https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia_de_Calidad_del_Aire_Interior_fenercom_2016.pdf)
- División Observatorio Social, Secretaria de Evaluación Social, G. de C. (2020). *Documento de*

## Bibliografía

- resultados: Equidad de Género. 1–24.  
[http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/documentos/Documento\\_de\\_resultados\\_Equidad\\_de\\_genero\\_25.06.2020.pdf](http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/documentos/Documento_de_resultados_Equidad_de_genero_25.06.2020.pdf)
- Encinas, F., Truffello, R., Urquiza, A., & Valdés, M. (2020). COVID-19 , pobreza energética y contaminación : rede niendo la vulnerabilidad en el centro-sur de Chile. *Ciper, May*, 1–16.
- GreenLabUC. (2015). *Evaluación del impacto de la calidad del aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del recambio en la región de Aysén*. 140.
- Guerra, J. (2020). *Realizan diagnóstico que vincula calidad de la vivienda social, pandemia y cuarentenas « Noticias UCN al día – Universidad Católica del Norte*. Habitabilidad Sustentable y Precariedad En Tiempos de Pandemia.
- Huneus, N.; Urquiza A.; Gayó, E.; Osses, M.; Arriagada, R.; Valdés, M.; Álamos, N.; Amigo, C.; Arrieta, D.; Basoa, K.; Billi, M.; Blanco, G.; Boisier, J.P.; Calvo, R.; Casielles, I.; Castro, M.; Chahuán, J.; Christie, D.; Cordero, L.; Correa, V.; Cortés, S. (2020). *El aire que respiramos: pasado, presente y futuro. Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile*.
- IQAir. (2020). *World's Most Polluted Cities in 2020 - PM2.5 Ranking | AirVisual*.  
<https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities?continent=59af929e3e70001c1bd78e50&country=&state=&page=1&perPage=50&cities=>
- Jiménez Tiberio, A. (2020). *La Hermeticidad al aire en España. Evolución Normativa y su importancia para los edificios de consumo casi nulo*.9.
- Lopez, ; Payan de Tejada, A.; Fernandez, J. (2020). Calidad del aire interior en viviendas UN ASESINO SILENCIOSO. *Revista De Los Aparejadores Y Arquitectos Técnicos*, 147(2), 10–14.  
[http://www.riarte.es/bitstream/handle/20.500.12251/1816/Cercha\\_147\\_FEB-21\\_pp\\_10-14\\_Calidad\\_del\\_aire\\_interior\\_en\\_viviendas\\_Un\\_asesino\\_silencioso.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.riarte.es/bitstream/handle/20.500.12251/1816/Cercha_147_FEB-21_pp_10-14_Calidad_del_aire_interior_en_viviendas_Un_asesino_silencioso.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ministerio de Desarrollo Social. (2019). Informe Desarrollo Social 2019. *Informe Desarrollo Social 2019*, 14.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2021). *Hacinamiento y allegamiento*.  
<https://datasocial.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fichaIndicador/371/1>
- Ministerio de energía. (2020). Estrategia de transición energética de residencial. *Vivienda y Densidad*, 34.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *PRAS Coronel.pdf*.
- Decreto 6: Establece Plan de Prevención y de Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concepción Metropolitano, 54 (2019).

## Bibliografía

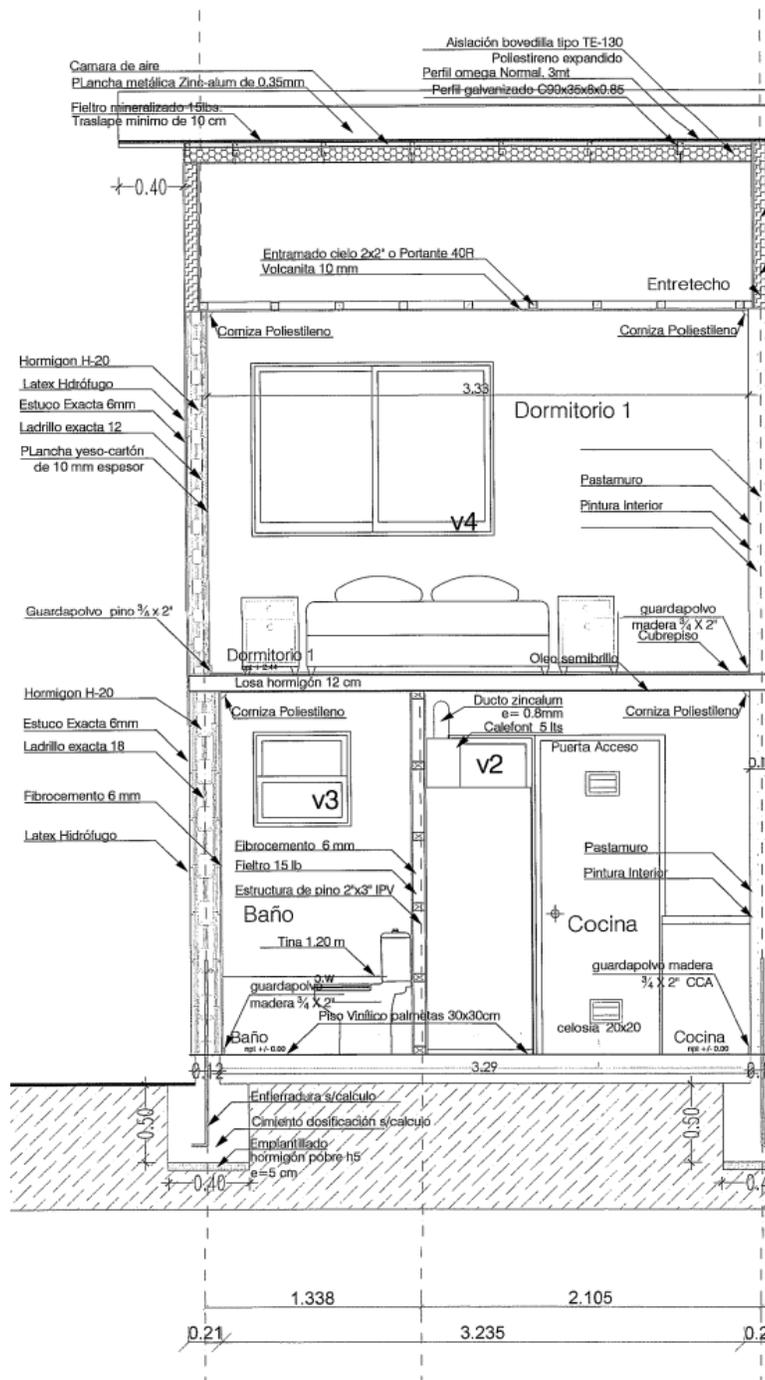
- Ossio, F., De Herde, A., & Veas, L. (2012). Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile. *Revista de La Construcción*, 11(1), 54–63. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000100006>
- Proaño, M. (2021). *Pobreza energética y teletrabajo ¿ una nueva fuente de desigualdad social ?* 1–11. *Reporte Comunal - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. (n.d.). Retrieved September 12, 2021, from <https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunal.html?unidad=Comunales&anno=2020>
- Tapia, A. (2020). *El camino de la sustentabilidad en la construcción chilena – Construye2025*. 1–7. <https://construye2025.cl/2019/08/28/el-camino-de-la-sustentabilidad-en-la-construccion-chilena/>
- Tapia, R., Araos, C., & Salinas, C. (2012). *Propuestas para Chile 2012. Capítulo IV: Condominios familiares. Una alternativa de solución residencial para las familias allegadas en lotes tipo 9×18*.

## Anexo A

### Anexos

### Anexo A

#### A.1 Escantillón vivienda caso IV



Anexo B

Anexo B

B.1 Resultados de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm promedio por mes para casos con envoltente original y PPDA en uso normal y en confinamiento.

Envoltente original – Régimen de uso normal					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep
<b>Caso 1</b>	1180,1	1187,1	1205,4	1173,0	1180,7
<b>Caso 2</b>	822,3	825,6	833,9	819,4	826,7
<b>Caso 3</b>	628,5	628,8	633,7	627,3	630,8
<b>Caso 4</b>	1001,4	1006,6	1017,3	994,2	1003,9

Envoltente original – Régimen de uso en confinamiento					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep
<b>Caso 1</b>	1420,4	1423,9	1430,0	1420,4	1417,6
<b>Caso 2</b>	958,8	958,8	962,3	957,4	960,1
<b>Caso 3</b>	701,0	700,9	702,6	700,4	701,4
<b>Caso 4</b>	1181,5	1182,9	1187,3	1177,4	1163,0

Envoltente PPDA – Régimen de uso normal					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep
<b>Caso 1</b>	1845,3	1851,6	1886,9	1832,9	1838,2
<b>Caso 2</b>	1943,1	1942,6	1979,7	1930,4	1953,0
<b>Caso 3</b>	1518,0	1530,0	1555,4	1509,3	1515,9
<b>Caso 4</b>	1626,2	1638,5	1666,9	1610,9	1589,3

Envoltente PPDA – Régimen de uso en confinamiento					
	May	Jun	Jul	Ago	Sep
<b>Caso 1</b>	2265,0	2265,8	2277,3	2260,0	2261,2
<b>Caso 2</b>	2397,3	2397,0	2408,7	2391,6	2397,5
<b>Caso 3</b>	1854,8	1857,3	1865,8	1854,3	1847,1
<b>Caso 4</b>	1966,5	1982,9	1996,8	1956,7	1863,7

Anexo B

B.2 Resultados de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm promedio por mes, para diferentes tasas de infiltración con régimen de uso normal de las viviendas.

Tasa de infiltración	Mes	Régimen de uso normal			
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
3	May	2.761	3.010	2.269	2.435
	Jun	2.791	3.018	2.300	2.482
	Jul	2.838	3.076	2.352	2.519
	Ag	2.749	2.983	2.237	2.404
	Sept	2.762	3.010	2.155	2.323
5	May	1.813	1.961	1.526	1.627
	Jun	1.827	1.959	1.542	1.640
	Jul	1.854	1.994	1.572	1.668
	Ag	1.802	1.940	1.510	1.610
	Sept	1.815	1.959	1.494	1.592
7	May	1.404	1.510	1.203	1.275
	Jun	1.414	1.509	1.215	1.282
	Jul	1.436	1.534	1.234	1.300
	Ag	1.398	1.498	1.192	1.264
	Sept	1.409	1.513	1.197	1.267
9	May	1.180	1.261	1.027	1.081
	Jun	1.187	1.262	1.034	1.088
	Jul	1.205	1.280	1.046	1.099
	Ag	1.173	1.255	1.017	1.074
	Sept	1.181	1.265	1.024	1.083
11	May	1.038	1.105	914	958
	Jun	1.043	1.106	918	962
	Jul	1.058	1.120	928	972
	Ag	1.032	1.099	907	952
	Sept	1.040	1.107	913	962
13	May	939	994	835	873
	Jun	944	997	837	876
	Jul	956	1.010	847	884
	Ag	935	990	829	866
	Sept	943	998	835	875
15	May	867	915	777	810
	Jun	872	917	778	812
	Jul	882	928	786	819
	Ag	863	910	772	804

Anexo B

	<b>Sept</b>	870	918	777	812
<b>17</b>	<b>May</b>	812	853	732	761
	<b>Jun</b>	816	856	733	762
	<b>Jul</b>	825	865	739	770
	<b>Ag</b>	808	850	728	756
	<b>Sept</b>	815	856	733	763
<b>19</b>	<b>May</b>	769	805	696	723
	<b>Jun</b>	773	808	698	723
	<b>Jul</b>	780	816	703	730
	<b>Ag</b>	765	801	694	719
	<b>Sept</b>	773	809	698	725
<b>21</b>	<b>May</b>	734	766	668	692
	<b>Jun</b>	738	768	669	692
	<b>Jul</b>	744	776	674	699
	<b>Ag</b>	730	763	666	689
	<b>Sept</b>	738	769	670	695
<b>23</b>	<b>May</b>	705	734	644	666
	<b>Jun</b>	708	736	645	666
	<b>Jul</b>	714	744	650	672
	<b>Ag</b>	702	731	643	664
	<b>Sept</b>	709	737	647	669
<b>25</b>	<b>May</b>	681	708	625	645
	<b>Jun</b>	683	709	625	645
	<b>Jul</b>	689	717	630	650
	<b>Ag</b>	678	705	624	643
	<b>Sept</b>	685	711	627	648
<b>27</b>	<b>May</b>	660	685	608	626
	<b>Jun</b>	662	686	609	627
	<b>Jul</b>	668	693	613	631
	<b>Ag</b>	658	683	607	625
	<b>Sept</b>	664	688	611	630

Anexo B

**B.3 Resultados de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm promedio por mes, para diferentes tasas de infiltración con régimen de uso en confinamiento de las viviendas**

Tasa de infiltración	Mes	Régimen de uso en confinamiento			
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
3	May	3.426	3.723	2.765	2.963
	Jun	3.451	3.723	2.806	3.021
	Jul	3.470	3.742	2.836	3.050
	Ag	3.439	3.713	2.739	2.943
	Sept	3.382	3.711	2.521	2.713
5	May	2.227	2.403	1.843	1.968
	Jun	2.237	2.403	1.861	1.983
	Jul	2.248	2.415	1.871	2.000
	Ag	2.230	2.398	1.840	1.962
	Sept	2.213	2.403	1.764	1.864
7	May	1.710	1.835	1.443	1.531
	Jun	1.715	1.835	1.445	1.538
	Jul	1.723	1.843	1.454	1.545
	Ag	1.710	1.831	1.436	1.525
	Sept	1.703	1.837	1.401	1.479
9	May	1.420	1.518	1.213	1.284
	Jun	1.424	1.518	1.216	1.287
	Jul	1.430	1.525	1.221	1.292
	Ag	1.420	1.515	1.210	1.280
	Sept	1.418	1.520	1.194	1.256
11	May	1.236	1.316	1.067	1.126
	Jun	1.239	1.316	1.069	1.127
	Jul	1.244	1.322	1.072	1.131
	Ag	1.236	1.314	1.064	1.122
	Sept	1.234	1.318	1.057	1.109
13	May	1.109	1.176	966	1.015
	Jun	1.110	1.176	967	1.016
	Jul	1.115	1.181	970	1.019
	Ag	1.108	1.174	964	1.013
	Sept	1.108	1.178	960	1.007
15	May	1.015	1.074	892	934
	Jun	1.016	1.074	892	934
	Jul	1.020	1.078	894	937
	Ag	1.014	1.072	890	933

Anexo B

	<b>Sept</b>	1.015	1.075	888	929
<b>17</b>	<b>May</b>	943	995	834	872
	<b>Jun</b>	944	995	834	872
	<b>Jul</b>	947	999	836	874
	<b>Ag</b>	942	993	832	871
	<b>Sept</b>	943	996	832	870
<b>19</b>	<b>May</b>	886	933	789	823
	<b>Jun</b>	887	933	789	823
	<b>Jul</b>	890	936	791	825
	<b>Ag</b>	886	931	788	822
	<b>Sept</b>	886	934	788	821
<b>21</b>	<b>May</b>	840	882	752	783
	<b>Jun</b>	841	883	752	783
	<b>Jul</b>	844	885	754	785
	<b>Ag</b>	840	881	751	782
	<b>Sept</b>	841	884	752	782
<b>23</b>	<b>May</b>	802	841	722	750
	<b>Jun</b>	803	841	722	750
	<b>Jul</b>	805	844	723	752
	<b>Ag</b>	802	840	721	749
	<b>Sept</b>	803	842	722	750
<b>25</b>	<b>May</b>	770	806	696	722
	<b>Jun</b>	771	806	696	722
	<b>Jul</b>	773	808	698	724
	<b>Ag</b>	770	805	696	721
	<b>Sept</b>	771	807	697	722
<b>27</b>	<b>May</b>	743	776	674	698
	<b>Jun</b>	744	776	674	698
	<b>Jul</b>	746	778	676	700
	<b>Ag</b>	743	775	674	698
	<b>Sept</b>	744	777	675	699

Anexo B

B.4 Resultados de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm promedio por mes, para diferentes tasas de infiltración y variación de ocupantes; con régimen de uso normal.

		CASO 1 – Régimen de uso normal			
Tasa de infiltración	Mes	3 ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	6 ocupantes
3	May	2.172	2.761	3.348	3.935
	Jun	2.188	2.791	3.380	3.965
	Jul	2.230	2.838	3.447	4.069
	Ag	2.154	2.749	3.332	3.920
	Sept	2.165	2.762	3.344	3.908
5	May	1.460	1.813	2.167	2.517
	Jun	1.470	1.827	2.179	2.527
	Jul	1.493	1.854	2.218	2.585
	Ag	1.447	1.802	2.150	2.494
	Sept	1.464	1.815	2.170	2.510
7	May	1.155	1.404	1.655	1.909
	Jun	1.160	1.414	1.668	1.916
	Jul	1.177	1.436	1.691	1.956
	Ag	1.147	1.398	1.647	1.895
	Sept	1.162	1.409	1.663	1.909
9	May	986	1.180	1.374	1.571
	Jun	990	1.187	1.384	1.577
	Jul	1.003	1.205	1.402	1.606
	Ag	980	1.173	1.369	1.559
	Sept	993	1.181	1.382	1.573
11	May	879	1.038	1.198	1.358
	Jun	882	1.043	1.204	1.363
	Jul	892	1.058	1.220	1.384
	Ag	875	1.032	1.191	1.349
	Sept	885	1.040	1.203	1.362
13	May	804	939	1.074	1.209
	Jun	807	944	1.079	1.214
	Jul	815	956	1.094	1.231
	Ag	802	935	1.068	1.203
	Sept	811	943	1.079	1.215
15	May	751	867	984	1.100
	Jun	753	872	989	1.104
	Jul	760	882	1.001	1.121
	Ag	748	863	980	1.096

Anexo B

	<b>Sept</b>	756	870	990	1.106
17	<b>May</b>	709	812	915	1.018
	<b>Jun</b>	711	816	919	1.021
	<b>Jul</b>	718	825	930	1.036
	<b>Ag</b>	707	808	911	1.014
	<b>Sept</b>	713	815	920	1.022
19	<b>May</b>	677	769	861	952
	<b>Jun</b>	679	773	865	957
	<b>Jul</b>	684	780	875	969
	<b>Ag</b>	675	765	858	950
	<b>Sept</b>	681	773	865	957
21	<b>May</b>	651	734	817	900
	<b>Jun</b>	652	738	821	903
	<b>Jul</b>	657	744	830	915
	<b>Ag</b>	649	730	815	898
	<b>Sept</b>	654	738	821	904
23	<b>May</b>	629	705	781	857
	<b>Jun</b>	630	708	785	859
	<b>Jul</b>	635	714	793	870
	<b>Ag</b>	627	702	779	854
	<b>Sept</b>	632	709	785	861
25	<b>May</b>	611	681	751	821
	<b>Jun</b>	612	683	754	823
	<b>Jul</b>	616	689	761	833
	<b>Ag</b>	609	678	748	818
	<b>Sept</b>	614	685	754	824
27	<b>May</b>	595	660	725	790
	<b>Jun</b>	596	662	728	792
	<b>Jul</b>	600	668	735	801
	<b>Ag</b>	594	658	722	787
	<b>Sept</b>	598	664	728	793

Anexo B

Tasa de infiltración	Mes	CASO 2 – Régimen de uso normal			
		3 ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	6 ocupantes
3	May	2.358	3.010	3.644	4.294
	Jun	2.368	3.018	3.659	4.299
	Jul	2.410	3.076	3.723	4.389
	Ag	2.336	2.983	3.600	4.226
	Sept	2.344	3.010	3.597	4.203
5	May	1.571	1.961	2.328	2.713
	Jun	1.577	1.959	2.342	2.717
	Jul	1.597	1.994	2.379	2.772
	Ag	1.556	1.940	2.307	2.692
	Sept	1.568	1.959	2.328	2.704
7	May	1.236	1.510	1.773	2.043
	Jun	1.240	1.509	1.779	2.045
	Jul	1.252	1.534	1.807	2.085
	Ag	1.225	1.498	1.761	2.035
	Sept	1.233	1.513	1.779	2.051
9	May	1.047	1.261	1.467	1.677
	Jun	1.052	1.262	1.471	1.679
	Jul	1.061	1.280	1.493	1.709
	Ag	1.041	1.255	1.459	1.669
	Sept	1.048	1.265	1.474	1.684
11	May	929	1.105	1.273	1.444
	Jun	933	1.106	1.276	1.447
	Jul	941	1.120	1.295	1.471
	Ag	922	1.099	1.265	1.438
	Sept	930	1.107	1.279	1.452
13	May	846	994	1.138	1.283
	Jun	849	997	1.141	1.286
	Jul	857	1.010	1.157	1.307
	Ag	841	990	1.133	1.279
	Sept	847	998	1.143	1.290
15	May	785	915	1.038	1.166
	Jun	788	917	1.041	1.168
	Jul	795	928	1.056	1.186
	Ag	781	910	1.036	1.161
	Sept	787	918	1.044	1.172
17	May	740	853	963	1.075
	Jun	741	856	965	1.078

Anexo B

	Jul	748	865	979	1.093
	Ag	736	850	959	1.072
	Sept	742	856	969	1.081
19	May	704	805	903	1.004
	Jun	705	808	905	1.007
	Jul	710	816	918	1.021
	Ag	701	801	900	1.000
	Sept	706	809	908	1.009
21	May	674	766	855	946
	Jun	675	768	856	948
	Jul	681	776	868	961
	Ag	673	763	851	943
	Sept	677	769	860	952
23	May	651	734	815	899
	Jun	651	736	817	901
	Jul	657	744	828	912
	Ag	649	731	812	895
	Sept	653	737	820	904
25	May	631	708	783	858
	Jun	631	709	783	860
	Jul	636	717	793	871
	Ag	629	705	779	855
	Sept	633	711	787	863
27	May	613	685	754	825
	Jun	614	686	755	825
	Jul	619	693	764	836
	Ag	612	683	751	822
	Sept	616	688	759	829

Anexo B

Tasa de infiltración	Mes	CASO 3 – Régimen de uso normal			
		3 ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	6 ocupantes
3	May	1.809	2.269	2.711	3.067
	Jun	1.817	2.300	2.751	3.191
	Jul	1.853	2.352	2.814	3.304
	Ag	1.794	2.237	2.692	3.085
	Sept	1.749	2.155	2.573	2.917
5	May	1.246	1.526	1.793	2.047
	Jun	1.247	1.542	1.805	2.088
	Jul	1.270	1.572	1.840	2.137
	Ag	1.241	1.510	1.785	2.046
	Sept	1.235	1.494	1.751	1.994
7	May	1.003	1.203	1.395	1.587
	Jun	1.004	1.215	1.409	1.612
	Jul	1.018	1.234	1.429	1.637
	Ag	999	1.192	1.390	1.585
	Sept	1.002	1.197	1.384	1.562
9	May	869	1.027	1.177	1.327
	Jun	869	1.034	1.184	1.340
	Jul	880	1.046	1.200	1.360
	Ag	865	1.017	1.172	1.324
	Sept	869	1.024	1.173	1.316
11	May	783	914	1.037	1.162
	Jun	785	918	1.040	1.169
	Jul	792	928	1.054	1.184
	Ag	781	907	1.033	1.157
	Sept	785	913	1.035	1.157
13	May	724	835	939	1.046
	Jun	725	837	943	1.050
	Jul	732	847	955	1.064
	Ag	722	829	935	1.042
	Sept	726	835	940	1.043
15	May	681	777	868	961
	Jun	681	778	872	964
	Jul	688	786	881	975
	Ag	679	772	863	957
	Sept	683	777	868	960
17	May	648	732	814	895
	Jun	648	733	815	898

Anexo B

	Jul	653	739	824	907
	Ag	647	728	809	891
	Sept	650	733	815	895
19	May	622	696	770	843
	Jun	622	698	771	845
	Jul	627	703	779	853
	Ag	621	694	767	838
	Sept	624	698	772	844
21	May	601	668	735	801
	Jun	601	669	736	803
	Jul	605	674	743	811
	Ag	600	666	732	796
	Sept	603	670	737	802
23	May	583	644	706	766
	Jun	583	645	706	767
	Jul	587	650	713	775
	Ag	583	643	704	763
	Sept	585	647	708	768
25	May	569	625	681	736
	Jun	569	625	682	737
	Jul	572	630	688	745
	Ag	568	624	679	734
	Sept	571	627	683	739
27	May	556	608	660	712
	Jun	556	609	661	712
	Jul	560	613	667	720
	Ag	556	607	658	710
	Sept	558	611	663	714

		CASO 4 – Régimen de uso normal			
Tasa de infiltración	Mes	3 ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	6 ocupantes
3	May	1934	2435	2881	3315
	Jun	1950	2482	2951	3477
	Jul	1983	2519	3022	3566
	Ag	1922	2404	2858	3362
	Sept	1866	2323	2753	3151

Anexo B

5	May	1322	1627	1902	2192
	Jun	1328	1640	1937	2239
	Jul	1348	1668	1964	2291
	Ag	1311	1610	1903	2194
	Sept	1310	1592	1875	2127
7	May	1056	1275	1481	1693
	Jun	1062	1282	1492	1721
	Jul	1075	1300	1516	1740
	Ag	1049	1264	1479	1690
	Sept	1058	1267	1472	1659
9	May	910	1081	1242	1407
	Jun	915	1088	1251	1425
	Jul	924	1099	1268	1442
	Ag	906	1074	1240	1405
	Sept	914	1083	1239	1392
11	May	818	958	1091	1228
	Jun	820	962	1097	1239
	Jul	829	972	1112	1252
	Ag	815	952	1088	1223
	Sept	821	962	1092	1221
13	May	754	873	985	1102
	Jun	755	876	991	1109
	Jul	762	884	1001	1120
	Ag	751	866	981	1096
	Sept	757	875	987	1100
15	May	706	810	908	1009
	Jun	707	812	913	1014
	Jul	713	819	921	1025
	Ag	704	804	904	1004
	Sept	710	812	910	1008
17	May	670	761	849	937
	Jun	671	762	852	941
	Jul	676	770	860	951
	Ag	669	756	844	933
	Sept	673	763	850	938
19	May	642	723	802	881
	Jun	642	723	804	884
	Jul	647	730	812	893
	Ag	641	719	797	877
	Sept	644	725	804	882

Anexo B

21	May	619	692	764	835
	Jun	619	692	765	838
	Jul	623	699	773	846
	Ag	618	689	759	831
	Sept	621	695	765	836
23	May	600	666	732	798
	Jun	599	666	732	799
	Jul	604	672	740	807
	Ag	599	664	729	793
	Sept	602	669	734	799
25	May	584	645	705	766
	Jun	584	645	706	767
	Jul	588	650	713	774
	Ag	583	643	702	762
	Sept	586	648	708	768
27	May	570	626	682	738
	Jun	570	627	683	740
	Jul	574	631	689	747
	Ag	569	625	680	735
	Sept	573	630	686	741

Anexo B

**B.5 Resultados de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm promedio por mes, para diferentes tasas de infiltración y variación de ocupantes; con régimen de uso en confinamiento.**

		<b>CASO 1 – Régimen de uso en confinamiento</b>			
<b>Tasa de infiltración</b>	<b>Mes</b>	<b>3 ocupantes</b>	<b>4 ocupantes</b>	<b>5 ocupantes</b>	<b>6 ocupantes</b>
<b>3</b>	<b>May</b>	2.681	3.426	4.162	4.862
	<b>Jun</b>	2.698	3.451	4.202	4.950
	<b>Jul</b>	2.712	3.470	4.225	4.976
	<b>Ag</b>	2.689	3.439	4.186	4.929
	<b>Sept</b>	2.655	3.382	4.100	4.812
<b>5</b>	<b>May</b>	1.777	2.227	2.672	3.106
	<b>Jun</b>	1.782	2.237	2.689	3.138
	<b>Jul</b>	1.790	2.248	2.702	3.154
	<b>Ag</b>	1.777	2.230	2.679	3.126
	<b>Sept</b>	1.769	2.213	2.651	3.083
<b>7</b>	<b>May</b>	1.386	1.710	2.030	2.345
	<b>Jun</b>	1.389	1.715	2.039	2.361
	<b>Jul</b>	1.395	1.723	2.049	2.372
	<b>Ag</b>	1.385	1.710	2.033	2.353
	<b>Sept</b>	1.383	1.703	2.019	2.332
<b>9</b>	<b>May</b>	1.168	1.420	1.671	1.920
	<b>Jun</b>	1.170	1.424	1.677	1.928
	<b>Jul</b>	1.174	1.430	1.684	1.937
	<b>Ag</b>	1.167	1.420	1.672	1.923
	<b>Sept</b>	1.167	1.418	1.667	1.912
<b>11</b>	<b>May</b>	1.029	1.236	1.442	1.646
	<b>Jun</b>	1.030	1.239	1.446	1.652
	<b>Jul</b>	1.034	1.244	1.452	1.660
	<b>Ag</b>	1.028	1.236	1.443	1.648
	<b>Sept</b>	1.029	1.234	1.439	1.642
<b>13</b>	<b>May</b>	933	1.109	1.283	1.456
	<b>Jun</b>	934	1.110	1.286	1.461
	<b>Jul</b>	937	1.115	1.291	1.467
	<b>Ag</b>	932	1.108	1.283	1.457
	<b>Sept</b>	933	1.108	1.281	1.454
<b>15</b>	<b>May</b>	863	1.015	1.167	1.317
	<b>Jun</b>	863	1.016	1.169	1.320
	<b>Jul</b>	866	1.020	1.173	1.326
	<b>Ag</b>	862	1.014	1.166	1.317

Anexo B

	Sept	862	1.015	1.165	1.315
17	May	808	943	1.077	1.211
	Jun	809	944	1.079	1.213
	Jul	811	947	1.083	1.218
	Ag	808	942	1.077	1.210
	Sept	808	943	1.076	1.209
19	May	766	886	1.007	1.126
	Jun	766	887	1.008	1.128
	Jul	768	890	1.011	1.132
	Ag	765	886	1.006	1.126
	Sept	766	886	1.006	1.125
21	May	731	840	949	1.058
	Jun	731	841	950	1.059
	Jul	733	844	954	1.063
	Ag	730	840	948	1.057
	Sept	731	841	949	1.057
23	May	702	802	902	1.001
	Jun	703	803	903	1.002
	Jul	705	805	906	1.006
	Ag	702	802	901	1.000
	Sept	703	803	902	1.001
25	May	678	770	862	953
	Jun	679	771	863	955
	Jul	680	773	866	958
	Ag	678	770	861	953
	Sept	679	771	862	954
27	May	658	743	828	913
	Jun	658	744	829	914
	Jul	660	746	831	917
	Ag	657	743	827	912
	Sept	658	744	829	913

CASO 2 – Régimen de uso en confinamiento					
Tasa de infiltración	Mes	3 ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	6 ocupantes
3	May	2.898	3.723	4.518	5.305
	Jun	2.897	3.723	4.522	5.332
	Jul	2.912	3.742	4.545	5.357

Anexo B

	Ag	2.890	3.713	4.490	5.263
	Sept	2.898	3.711	4.399	5.002
5	May	1.905	2.403	2.885	3.363
	Jun	1.905	2.403	2.885	3.369
	Jul	1.913	2.415	2.900	3.386
	Ag	1.901	2.398	2.874	3.347
	Sept	1.907	2.403	2.861	3.288
7	May	1.477	1.835	2.182	2.528
	Jun	1.477	1.835	2.181	2.530
	Jul	1.483	1.843	2.192	2.542
	Ag	1.474	1.831	2.177	2.519
	Sept	1.479	1.837	2.180	2.506
9	May	1.239	1.518	1.789	2.061
	Jun	1.239	1.518	1.789	2.061
	Jul	1.244	1.525	1.797	2.071
	Ag	1.237	1.515	1.785	2.055
	Sept	1.241	1.520	1.791	2.053
11	May	1.088	1.316	1.539	1.762
	Jun	1.087	1.316	1.539	1.762
	Jul	1.092	1.322	1.546	1.770
	Ag	1.086	1.314	1.536	1.759
	Sept	1.089	1.318	1.541	1.763
13	May	982	1.176	1.365	1.555
	Jun	982	1.176	1.365	1.555
	Jul	986	1.181	1.371	1.562
	Ag	981	1.174	1.363	1.552
	Sept	984	1.178	1.367	1.557
15	May	905	1.074	1.238	1.402
	Jun	905	1.074	1.238	1.403
	Jul	908	1.078	1.243	1.408
	Ag	904	1.072	1.235	1.400
	Sept	906	1.075	1.239	1.404
17	May	846	995	1.140	1.286
	Jun	846	995	1.140	1.286
	Jul	849	999	1.144	1.291
	Ag	845	993	1.138	1.283
	Sept	847	996	1.142	1.288
19	May	800	933	1.063	1.193
	Jun	800	933	1.063	1.193
	Jul	802	936	1.067	1.198

Anexo B

	Ag	799	931	1.061	1.191
	Sept	800	934	1.064	1.195
21	May	762	882	1.000	1.119
	Jun	762	883	1.000	1.119
	Jul	764	885	1.004	1.123
	Ag	761	881	999	1.117
	Sept	763	884	1.002	1.120
23	May	731	841	948	1.057
	Jun	731	841	949	1.057
	Jul	733	844	952	1.061
	Ag	730	840	947	1.055
	Sept	731	842	950	1.058
25	May	704	806	905	1.005
	Jun	704	806	905	1.005
	Jul	706	808	908	1.008
	Ag	704	805	904	1.003
	Sept	705	807	906	1.006
27	May	682	776	868	960
	Jun	682	776	868	960
	Jul	684	778	871	964
	Ag	681	775	867	959
	Sept	683	777	869	962

		CASO 3- Régimen de uso en confinamiento			
Tasa de infiltración	Mes	3 ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	6 ocupantes
3	May	2.203	2.765	3.279	3.733
	Jun	2.226	2.806	3.380	3.916
	Jul	2.240	2.836	3.414	3.954
	Ag	2.193	2.739	3.243	3.760
	Sept	2.046	2.521	2.975	3.398
5	May	1.494	1.843	2.180	2.500
	Jun	1.501	1.861	2.212	2.552
	Jul	1.508	1.871	2.229	2.575
	Ag	1.487	1.840	2.170	2.490

Anexo B

	<b>Sept</b>	1.447	1.764	2.065	2.345
7	<b>May</b>	1.184	1.443	1.692	1.930
	<b>Jun</b>	1.188	1.445	1.702	1.954
	<b>Jul</b>	1.193	1.454	1.712	1.968
	<b>Ag</b>	1.181	1.436	1.681	1.923
	<b>Sept</b>	1.164	1.401	1.629	1.849
9	<b>May</b>	1.013	1.213	1.410	1.601
	<b>Jun</b>	1.014	1.216	1.416	1.614
	<b>Jul</b>	1.017	1.221	1.423	1.624
	<b>Ag</b>	1.010	1.210	1.407	1.598
	<b>Sept</b>	1.003	1.194	1.378	1.553
11	<b>May</b>	903	1.067	1.231	1.392
	<b>Jun</b>	903	1.069	1.233	1.396
	<b>Jul</b>	906	1.072	1.238	1.404
	<b>Ag</b>	901	1.064	1.228	1.387
	<b>Sept</b>	897	1.057	1.210	1.358
13	<b>May</b>	826	966	1.105	1.243
	<b>Jun</b>	826	967	1.107	1.245
	<b>Jul</b>	828	970	1.110	1.251
	<b>Ag</b>	824	964	1.102	1.239
	<b>Sept</b>	823	960	1.095	1.224
15	<b>May</b>	769	892	1.012	1.132
	<b>Jun</b>	770	892	1.013	1.134
	<b>Jul</b>	771	894	1.016	1.138
	<b>Ag</b>	769	890	1.010	1.130
	<b>Sept</b>	768	888	1.006	1.120
17	<b>May</b>	726	834	941	1.048
	<b>Jun</b>	726	834	942	1.049
	<b>Jul</b>	728	836	944	1.052
	<b>Ag</b>	726	832	940	1.045
	<b>Sept</b>	726	832	937	1.041
19	<b>May</b>	692	789	885	980
	<b>Jun</b>	692	789	885	981
	<b>Jul</b>	694	791	888	984
	<b>Ag</b>	692	788	883	978
	<b>Sept</b>	692	788	883	976
21	<b>May</b>	665	752	839	926
	<b>Jun</b>	665	752	839	926
	<b>Jul</b>	666	754	842	929
	<b>Ag</b>	664	751	838	924

Anexo B

	<b>Sept</b>	665	752	838	923
23	<b>May</b>	642	722	801	881
	<b>Jun</b>	642	722	801	881
	<b>Jul</b>	643	723	804	883
	<b>Ag</b>	641	721	801	879
	<b>Sept</b>	642	722	801	879
25	<b>May</b>	623	696	770	843
	<b>Jun</b>	623	696	770	843
	<b>Jul</b>	624	698	772	845
	<b>Ag</b>	622	696	769	842
	<b>Sept</b>	623	697	769	842
27	<b>May</b>	606	674	743	810
	<b>Jun</b>	606	674	742	810
	<b>Jul</b>	607	676	744	813
	<b>Ag</b>	606	674	742	810
	<b>Sept</b>	607	675	743	810

		<b>CASO 4 – Régimen de uso en confinamiento</b>			
<b>Tasa de infiltración</b>	<b>Mes</b>	<b>3 ocupantes</b>	<b>4 ocupantes</b>	<b>5 ocupantes</b>	<b>6 ocupantes</b>
3	<b>May</b>	2.362	2.963	3.509	3.994
	<b>Jun</b>	2.385	3.021	3.636	4.215
	<b>Jul</b>	2.402	3.050	3.688	4.271
	<b>Ag</b>	2.346	2.943	3.513	4.047
	<b>Sept</b>	2.180	2.713	3.191	3.673
5	<b>May</b>	1.590	1.968	2.330	2.659
	<b>Jun</b>	1.598	1.983	2.368	2.735
	<b>Jul</b>	1.605	2.000	2.390	2.771
	<b>Ag</b>	1.582	1.962	2.321	2.672
	<b>Sept</b>	1.526	1.864	2.195	2.503
7	<b>May</b>	1.255	1.531	1.799	2.053
	<b>Jun</b>	1.257	1.538	1.813	2.086
	<b>Jul</b>	1.262	1.545	1.827	2.105
	<b>Ag</b>	1.249	1.525	1.791	2.051
	<b>Sept</b>	1.227	1.479	1.725	1.963

Anexo B

9	May	1.066	1.284	1.499	1.700
	Jun	1.068	1.287	1.502	1.717
	Jul	1.071	1.292	1.512	1.730
	Ag	1.063	1.280	1.495	1.700
	Sept	1.052	1.256	1.452	1.644
11	May	946	1.126	1.302	1.473
	Jun	947	1.127	1.306	1.481
	Jul	950	1.131	1.311	1.491
	Ag	945	1.122	1.300	1.472
	Sept	939	1.109	1.276	1.435
13	May	863	1.015	1.166	1.314
	Jun	863	1.016	1.168	1.317
	Jul	866	1.019	1.172	1.324
	Ag	862	1.013	1.163	1.312
	Sept	859	1.007	1.150	1.286
15	May	802	934	1.065	1.194
	Jun	802	934	1.066	1.197
	Jul	804	937	1.070	1.202
	Ag	801	933	1.063	1.193
	Sept	799	929	1.055	1.179
17	May	755	872	988	1.103
	Jun	755	872	989	1.105
	Jul	757	874	992	1.109
	Ag	754	871	986	1.101
	Sept	754	870	982	1.092
19	May	718	823	927	1.030
	Jun	718	823	927	1.031
	Jul	719	825	930	1.035
	Ag	717	822	926	1.029
	Sept	717	821	924	1.023
21	May	688	783	877	971
	Jun	688	783	877	972
	Jul	689	785	880	975
	Ag	687	782	876	969
	Sept	688	782	875	967
23	May	663	750	836	922
	Jun	663	750	836	922
	Jul	664	752	839	925
	Ag	662	749	835	921
	Sept	663	750	835	920

Anexo B

25	May	642	722	802	881
	Jun	642	722	802	881
	Jul	643	724	804	884
	Ag	641	721	801	880
	Sept	642	722	801	880
27	May	624	698	772	846
	Jun	624	698	772	846
	Jul	625	700	774	848
	Ag	624	698	771	845
	Sept	625	699	772	845

**B.6 Resultados de concentraciones de CO<sub>2</sub> en ppm horarias por recinto; con régimen de uso en confinamiento.**

CASO 1				
Dormitorio 1		Dormitorio 2		
Hora	Original	Con mejoras PDA	Original	Con mejoras PDA
1:00	978	1.064	941	1.028
2:00	1.470	1.658	1.401	1.583
3:00	1.882	2.275	1.907	2.291
4:00	2.424	2.639	2.321	2.976
5:00	2.694	3.086	2.550	3.469
6:00	2.826	3.618	2.674	3.822
7:00	2.903	4.019	2.746	4.079
8:00	2.948	4.303	2.787	4.266

CASO 2				
Dormitorio 1		Dormitorio 2		
Hora	Original	Con mejoras PDA	Original	Con mejoras PDA
1:00	902	1.079	960	1.137
2:00	1.227	2.160	1.592	2.349
3:00	1.487	2.982	1.786	3.269
4:00	1.643	3.552	1.828	3.908
5:00	1.686	3.962	1.843	4.365
6:00	1.697	4.258	1.850	4.696
7:00	1.701	4.471	1.851	4.935
8:00	1.702	4.624	1.851	5.079

Anexo B

CASO 3				
Dormitorio 1			Dormitorio 2	
Hora	Original	Con mejoras PDA	Original	Con mejoras PDA
1:00	960	1.137	889	961
2:00	1.592	2.349	1.195	1.990
3:00	1.786	3.269	1.354	2.876
4:00	1.828	3.908	1.387	3.516
5:00	1.843	4.365	1.393	3.978
6:00	1.850	4.696	1.395	4.312
7:00	1.851	4.935	1.395	4.552
8:00	1.851	5.079	1.393	4.662

CASO 4				
Dormitorio 1			Dormitorio 2	
Hora	Original	Con mejoras PDA	Original	Con mejoras PDA
1:00	897	982	891	1.007
2:00	1.619	1.925	1.745	2.078
3:00	2.013	2.642	2.295	3.004
4:00	2.200	3.142	2.583	3.675
5:00	2.296	3.502	2.734	4.164
6:00	2.348	3.763	2.815	4.519
7:00	2.374	3.952	2.857	4.779
8:00	2.382	4.038	2.880	4.967

USO SIMULTÁNEO DÍAS DE SEMANA								
Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		
Hora	Original	Con mejoras PDA						
19.00	400	404	400	404	400	403	400	404
20.00	865	896	836	919	745	853	931	977
21.00	1.344	1.445	1.248	1.513	989	1.356	1.438	1.607
22.00	1.254	1.438	1.013	1.522	781	1.346	1.308	1.594
23.00	1.029	1.273	704	1.314	589	1.204	1.058	1.415

Anexo B

USO SIMULTÁNEO FINES DE SEMANA								
	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
Hora	Original	Con mejoras PDA						
12.00	403	434	400	427	747	876	930	1.017
13.00	868	922	851	961	995	1.384	1.440	1.631
14.00	1.338	1.471	1.202	1.700	1.172	1.795	2.021	2.266
15.00	1.679	1.913	1.589	2.321	1.245	2.229	2.259	2.884
16.00	1.512	1.836	1.287	2.225	926	2.195	1.946	2.726
17.00	1.276	1.652	925	1.957	613	1.932	1.580	2.139