



**Universidad de Concepción**

**Facultad de Ingeniería**

**Doctorado en Energías**

**OPTIMIZACIÓN MULTICRITERIO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA Y  
SISTEMAS DE CALEFACCIÓN EN VIVIENDAS SOCIALES DEL  
CENTRO-SUR DE CHILE**

Tesis para optar al grado de Doctora en Energías

Por: Lorena Larrea Sáez

Profesora Guía: Dra. Yannay Casas Ledón

Profesor Co-Guía: Dr. Cristian Cuevas Barraza

Concepción, Chile, enero de 2024.

## RESUMEN

En esta tesis se analiza la importancia de considerar factores económicos y ambientales en la optimización de la envolvente térmica y sistemas de calefacción de viviendas sociales en Chile, y su relación con las políticas de eficiencia energética del país. Se propone un enfoque de optimización multi-objetivo para minimizar la demanda de calefacción, los impactos ambientales y los costos globales en viviendas sociales en diferentes ciudades del centro-sur de Chile, considerando alternativas para los muros de la envolvente y recambio de sistemas de calefacción.

En primera instancia se evalúa la demanda energética y el impacto ambiental de las viviendas sociales en Chile mediante una evaluación del ciclo de vida de la cuna a la tumba. Se consideran diferentes condiciones climáticas de siete ciudades, materiales aislantes y espesores. Los resultados muestran la necesidad de considerar aspectos como la combinación entre materiales aislantes, espesores y condiciones climáticas locales. Se plantea la necesidad de mejorar la regulación térmica sobre todo en las zonas más frías, así como establecer normas de eficiencia energética adecuadas a condiciones locales.

Posteriormente se estudian los impactos ambientales y costos globales de distintos tipos de sistemas de calefacción, mostrando que la demanda por calefacción, los tipos de combustible, la eficiencia de los sistemas de calefacción y composición de la matriz eléctrica influyen en los impactos ambientales. Se observa que el uso de estufas de leña para la calefacción provoca un mayor impacto ambiental, pero tiene menores costos globales en comparación con el uso de pellet o electricidad/bomba de calor. En este sentido, la eficacia de las iniciativas para sustituir los aparatos de calefacción por tecnologías más eficientes se ha visto limitada por los elevados costes del combustible y por problemas de aceptación social.

Los resultados muestran que la leña puede ser una solución óptima a pesar de los impactos ambientales que su uso conlleva. Por ejemplo, en Concepción y Temuco, que son ciudades con PDA vigente, se obtiene que la leña es la solución óptima cuando la importancia (peso relativo) de los costos globales es mayor que 55%, independiente de la importancia asociada a el impacto ambiental y la demanda energética.

Se propone resultados óptimos con criterios equilibrados (33.3% cada uno) dependiendo si la ciudad cuenta con PDA vigente. En Concepción el óptimo equilibrado resulta en una solución con leña, entonces se propone aumentar la ponderación de los impactos ambientales y disminuir el de los costos globales, logrando soluciones más costosas, usando bomba de calor. En Temuco en cambio, la solución óptima equilibrada es bomba de calor y también lo es en el caso de Pucón y Puerto Montt. Pero dado que estas 2 ciudades no tienen PDA vigente, se propone aumentar el factor de ponderación del costo

y disminuir el de impactos, pero siempre considerando transmitancias térmicas para los muros más restrictivas según lo propone la NCh 1079:2019, para lograr envolventes más eficientes y continuando con el uso de leña siempre utilizando equipos eficientes y leña seca.

De acuerdo con lo anterior, se destaca que el análisis multicriterio realizado en esta investigación permite conocer con detalle la importancia relativa de diferentes variables asociadas a la toma de decisiones para calefacción/aislación. Por tanto, incorporar este tipo de análisis contribuye a la generación de políticas públicas efectivas y de manera informada.

Los resultados de esta tesis complementan la literatura actual para la toma de decisiones en viviendas sociales en Chile. Destacan la necesidad de políticas públicas que integren aspectos como costos globales e impacto ambiental. Se concluye que una optimización integrada de demanda energética, impactos ambientales y costos globales entregan soluciones que muestran bajo qué condiciones el uso de un sistema de calefacción es factible como solución óptima, para cada ciudad en estudio sometida a diferentes climas, zona térmica y consecuente restricción de transmitancia térmica.