



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECCIÓN DE DEMANDAS FUTURAS DE CLIMATIZACIÓN EN OFICINAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

NICOLÁS ERNESTO BELTRAMI ZAMORANO

PROFESORA GUÍA:
MÓNICA ZAMORA ZAPATA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
REYNALDO CABEZAS CIFUENTES
IGNACIO SÁNCHEZ LIZAMA

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR: NICOLÁS ERNESTO BELTRAMI ZAMORANO
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: MÓNICA ZAMORA

PROYECCIÓN DE DEMANDAS FUTURAS DE CLIMATIZACIÓN EN OFICINAS

El cambio climático es una realidad incambiable en este planeta, donde este impacta cada aspecto de la sociedad en una escala inmensa, por lo cual algún tipo de predicción puede llegar a ser muy importante, en particular, en el sector energético, alguna clase de herramienta predictora es fundamental para planificar una vida óptima en los años venideros. Esta sería la motivación principal para este trabajo con tal de aportar a la búsqueda de una futura calidad de vida más óptima.

El siguiente informe tiene el propósito de mostrar la proposición de tema de trabajo de título “Proyección de demandas futuras de climatización en oficinas”, considerando el cambio climático como problemática principal y a estudiar junto a la adaptación del sector energético de Chile. Donde a través de la creación de una herramienta de predicción y estimación con el uso de programación se podrían obtener resultados aproximados de los consumos energéticos de climatización en distintos tipos de edificaciones en Chile.

Los objetivos de este trabajo son la creación de la herramienta de predicción a través de programación, analizando y estudiando datos de reportes e investigaciones de cambio climático, analizando estudios de consumo energético en distintos edificios chilenos, realizando proyecciones o predicciones en base al análisis de los estudios e ideando una programación apropiada para la creación de la herramienta. Se programará a través del lenguaje y aplicación de Python, donde además se dispondrán distintos escenarios de cambio climático, se analizarán distintas metas energéticas y los distintos tipos de edificios que se estudiarían (comerciales, residenciales e industriales).

Se usan 5 escenarios de cambio climático, siendo estos optimista, semi optimista, realista, semi pesimista y pesimista. La edificación a utilizar es de una oficina estándar con características cambiantes solamente dependiendo de la región de ubicación, las cuales se consideran todas las regiones de Chile, donde las temperaturas proyectadas reunidas de las investigaciones del CMIP se utilizarían para calcular consumos de climatización, los cuales se expresan en kWh/m² al año.

Se finaliza el informe con un análisis de los primeros y siguientes resultados, discutirlos con énfasis en donde mejorar y concluir con los datos de proyección de consumos de climatización para todas las regiones, los cuales son en total 5.700 datos, donde hay incluso mayor cantidad de datos si consideramos análisis de cada fórmula previa, donde se verán en particular solo algunos casos. Al mismo tiempo la demanda de calefacción y refrigeración respectivamente disminuyen un 10 % y aumentan un 7-8 % aproximadamente dependiendo de la región de análisis, donde zonas centrales son las que muestran de mejor manera el promedio.

Cada obstáculo es una oportunidad para crecer y triunfar.

Saludos a mis más queridos

Agradecimientos

Fue un trabajo muy difícil de terminar a largo plazo, por temas personales de salud más que nada, pero la satisfacción de realizarlo fue de características inmensas, sobre todo cuando los resultados se fueron dando, al principio no como debían, pero finalizó con un trabajo satisfactorio.

Todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo de mi familia, psicóloga, profesores involucrados en todo el proceso y a la universidad por todo lo realizado.

Una mención especial a una amiga cercana del departamento de computación, Javi Romero, que me ayudó en los momentos de más trabas al momento de programar, al mismo tiempo que agradezco a mis amigos más cercanos que probablemente se hayan cansado de cuanto les hablé del tema que me estresaba bastante, sin embargo estuvieron hasta el final escuchandome y ofreciendo compañía.

Una última mención a mis papás, que se ofrecieron a escuchar mis ideas y mi presentación final con la mejor de las intenciones de ayudarme con el trabajo en épocas de mucho estrés.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivo y Alcances	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
2.3. Alcances	3
3. Antecedentes	5
3.1. Cambio climático	5
3.2. Crisis Climática a nivel global	7
3.3. Crisis climática a nivel nacional	8
3.4. Proyección de Consumo Energético de Climatización	12
4. Metodología	13
4.1. Proyecciones Climáticas	13
4.2. Cálculo de demandas térmicas	15
4.3. Programación en Python	18
5. Resultados y Discusiones	23
5.1. Datos de consumo energético	23
5.2. Interpolación y pruebas iniciales de proyección en la RM	24
5.3. Discusión de pruebas preliminares	26
5.4. Resultados de programación a primera instancia	28
5.5. Resultados de programación final	33
5.6. Discusión final	36
6. Conclusiones	42
Bibliografía	44
Anexos	46
A. Códigos	46
B. Tablas de datos	53

Índice de Tablas

5.1.	Tabla de consumo energético de electricidad del ministerio de energía de los años 2017 al 2019.	23
5.2.	Consumos energéticos promedios calculados según los datos de Ministerio de Energía.	24
5.3.	Modelo de interpolación explicado con constantes y variable.	24
5.4.	Ganancias calculadas con las fórmulas anteriormente mencionadas.	26
5.5.	Demandas de energías calculadas.	27
5.6.	Demandas de energías por m2 para los ejemplos usados.	27
5.7.	Tabla de ejemplo de la Región Metropolitana los últimos 5 años proyectados. .	29
5.8.	Tabla de datos de Arica los últimos 5 años de la proyección.	30
5.9.	Tabla de datos de Aysén los últimos 5 años de la proyección.	30
5.10.	Tabla de datos de Arica en demanda de calefacción los últimos 5 años.	31
5.11.	Tabla de datos de Arica en demanda de refrigeración los últimos 5 años.	31
5.12.	Tabla de datos de Aysén en demanda de calefacción los últimos 5 años.	31
5.13.	Tabla de datos de Aysén en demanda de refrigeración los últimos 5 años.	31
5.14.	Ejemplo donde se nota la anomalía en el caso específico de la región de Maule 2034-2038.	32
5.15.	Refrigeración los primeros 5 años en la RM	36
5.16.	Refrigeración los últimos 5 años en la RM	36
5.17.	Calefacción los primeros 5 años en la RM	36
5.18.	Calefacción los últimos 5 años en la RM	36
5.19.	Refrigeración los primeros 5 años en la Región de Arica	37
5.20.	Refrigeración los últimos 5 años en la Región de Arica	38
5.21.	Calefacción los primeros 5 años en la Región de Arica	38
5.22.	Calefacción los últimos 5 años en la Región de Arica	38
5.23.	Refrigeración los primeros 5 años en la Región de Magallanes	38
5.24.	Refrigeración los últimos 5 años en la Región de Magallanes	39
5.25.	Calefacción los primeros 5 años en la Región de Magallanes	39
5.26.	Calefacción los últimos 5 años en la Región de Magallanes	39
B.1.	Datos faltantes 2020-2022 de Consumo energético del Ministerio de energía. . .	53
B.2.	Tabla de ejemplo de cálculo para Santiago el año 2017.	53
B.3.	Tabla de ejemplo de cálculo para Santiago el año 2018.	53

Índice de Ilustraciones

3.1.	Se muestra una aproximación lineal del aumento de temperatura de forma global, junto con las concentraciones de emisiones de CO ₂ . [2]	6
3.2.	Zonas de aumento de temperatura en el planeta, notando que en Chile el aumento es de aproximadamente 1°C. [3]	7
3.3.	Datos de Chile de temperatura media y densidad de ella, notando que la mayor ocurrencia fue de la última década. [12]	7
3.4.	Emisiones de Chile proyectadas en vista de la carbono neutralidad. [6]	9
3.5.	Visualización de las potencias generadas para distintos tipos de energías usadas de electricidad y su uso en Chile para el año 2021. [9]	11
3.6.	Simulación de escenario proyectado de retiro de carbón realizado por Ministerio de Energía el 2019. [11]	11
4.1.	Una simple ejemplificación de la proyección de algunos casos climáticos vistos en Radiación [22].	14
4.2.	Cargas sensibles y latentes ocupacionales, donde a través de la temperatura del local se elige el caso respectivo, en este caso empleados de oficina. [16]	16
4.3.	Aportaciones solares según latitud y orientación del edificio, las cuales se ocuparon para los primeros cálculos. [16]	17
4.4.	Transmitancias térmicas para todos los elementos de la edificación, decidiendo con respecto al lugar ubicado. [17]	17
5.1.	Esquema de ganancias y pérdidas térmicas para cada elemento o característica de la oficina.	35
5.2.	Gráfico de comparación de demandas de calefacción con superficies expuestas, donde nuestro caso sería un punto medio entre departamento y vivienda.	40

Capítulo 1

Introducción

A medida que pasan los años, la humanidad realiza nuevos descubrimientos e invenciones, los cuales va adaptando y moldeando en la sociedad hasta hacerla parte del día a día. Sin embargo, algunos de estos hallazgos pueden generar grandes impactos en el bienestar del ser humano e incluso el planeta tierra, por lo cual requieren una mayor prioridad de adaptación en torno a la incorporación de estos. Este es el caso del problema de la crisis climática.

El cambio climático corresponde a un efecto causado principalmente por la acumulación constante y de gran magnitud de gases de efecto invernadero en la atmósfera del planeta tierra, estos gases corresponden principalmente a dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4). De estos gases cabe destacar que son liberados en gran porcentaje debido a causa directa e indirecta netamente humana. A causa de la existencia de la atmósfera terrestre, los gases invernadero se mantienen atrapados en el planeta, lo cual causa que el calor proveniente del sol se mantenga de una manera permanente.

Los efectos más notorios debido al cambio climático son los derretimientos de glaciares, cambios climatológicos (lluvias, nieves, sequías), elevación del nivel general marítimo, inundaciones y daños a los ecosistemas nativos, además de daños a grandes escalas futuras al bienestar de la vida humana. Todos estos efectos mencionados pueden ser relacionados y consecuencias del factor principal del aumento de la temperatura a nivel global.

Este último factor mencionado es el que mayor peligro puede conllevar a plazos futuros, esto debido a que, si la temperatura aumenta hasta los 2°C de manera global, se ocasionarán daños irreversibles para la vida en el planeta tierra y extinción masiva de muchas especies, de lo cual aún no hay una idea exacta del potencial impacto en su totalidad que podría generar para el futuro de la humanidad. Por este hecho, muchas medidas se piensan implementar tal que ese escenario no llegue a suceder, algunas de maneras más graduales, otras por urgencia de forma más abrupta. Algunos de estos cambios planeados por el gobierno de Chile son protección de los ecosistemas, aumento de plantación de árboles, la meta ambiciosa de la carbono neutralidad para el año 2050 y disminución de emisiones en un 30% para el año 2030. Este último punto para lograr su éxito, se necesitan cambios en industrias como la agricultura, uso de transportes a través de electromovilidad, construcción e industrias, pero principalmente el cambio de mayor impacto corresponde en el sector de energía con sus consumos primarios.

El sector energético de Chile es el que más contribuye en emisiones de gases invernadero de

manera actual, por lo cual cambios como la electromovilidad y aumento de energía a partir de fuentes renovables ya son una realidad actual y con grandes cambios graduales pronosticados para un futuro cercano. Por estas metas determinadas, el consumo energético de la sociedad chilena espera cambios para lograr de una manera más completa la adaptación al cambio climático, donde a través de múltiples estudios, investigaciones y análisis se determinará el resultado que se pueda obtener.

Si bien se habla del sector energético en Chile como crucial para lograr una buena adaptación al cambio climático, donde este afecta de manera importante especialmente al uso de electricidad de equipos de climatización a largo plazo (calefacción y refrigeración), aún no se encuentra a disposición la existencia de una herramienta de predicción de los consumos energéticos para edificaciones de uso primario vista para un futuro, sea cercano o lejano.

Capítulo 2

Objetivo y Alcances

La motivación principal para la realización de este informe y propuesta de trabajo es principalmente la creación de una herramienta de consumo energético que cuente específicamente con el foco de la adaptación al cambio climático, lo cual hasta ahora no hay a nivel nacional, además de la posibilidad de poder hacer un aporte más activo a la adaptación a la crisis climática.

2.1. Objetivo General

El propósito de este trabajo es el siguiente:

- Crear una herramienta de predicción de demanda térmica de climatización para oficinas con contexto de cambio climático para todas las regiones de Chile.

2.2. Objetivos Específicos

1. Analizar y estudiar proyecciones de cambio climático
2. Analizar estudios de demandas de climatización en diferentes tipos de edificios locales con horizontes de tiempos futuros
3. Realizar proyecciones en base a un análisis de los datos reunidos previamente
4. Programar apropiadamente a través de aplicaciones para una buena creación de la herramienta.

2.3. Alcances

- Se estudiarán y analizarán solo datos pertinentes a la zona nacional, tanto en aspectos de cambio climático como edificación y consumo y metas energéticas.
- Los casos estudiados se limitarán a ser una finita cantidad de escenarios posibles, de manera que no se considerará una variable libre.

- El horizonte de tiempo se condicionará a los datos pertinentes que se puedan llegar a encontrar, de manera que, si para cierto año ya no hay datos suficientes para lograr una predicción o estimación adecuada para la herramienta, se detendrá la recolección de datos en el año o periodo de tiempo respectivo anterior que este punto no se cumpla, por lo mismo el horizonte de tiempo final acordado es hasta el año 2100.

Capítulo 3

Antecedentes

3.1. Cambio climático

El tema de cambio climático a nivel global recién iniciaba con las primeras ideas por el descubrimiento del efecto invernadero a principios del siglo XIX, donde a fines de este mismo recién se empezó a sospechar el hecho de que este podría eventualmente afectar la climatología del planeta debido a la interferencia humana en forma de emisión de gases invernadero.

Sin embargo, en estas épocas el cambio climático no se asociaba mayormente a causa humana, sino más bien a otras teorías variadas, como lo son la actividad volcánica (Vulcanismo) y fluctuaciones de energías y frecuencias emitidas por el sol.

Aun así, con el avance del tiempo los científicos cada vez pensaban más en el efecto invernadero como causante del cambio climático de manera más seria y como la teoría principal, por lo cual ya a mediados del siglo XX era una teoría convincente, donde la mayor causa conocida podría ser las emisiones del dióxido de carbono, así a mediados de los años 90 ya era considerada una realidad por modelos informáticos confirmando los puntos planteados y adaptando conocimientos previos, como lo es la teoría de Milankovitch que termina siendo confirmada.

Desde aquel entonces las medidas para el cambio climático se han discutido de diversas formas, donde la primera en consolidarse fue la mitigación y reducción de desechos con objetivo de disminuir la producción a base de recursos no renovables, donde tomó fuerza la idea del reciclaje como medida primordial a utilizar de manera global. A pesar de esto, los efectos no se pudieron ver reflejados a un nivel de disminución de emisiones de gases efecto invernadero, al contrario, las disminuciones continuarán aumentando de manera gradual hasta mediados de la última década de manera global y no había indicios de descenso con el tiempo, y a nivel nacional este efecto se puede deber mayormente al proceso de industrialización constante que mostraba el país a partir del siglo anterior, donde la contaminación del aire posaba una constante preocupación incluso en esos años de mayor producción con materia limitada, lo cual sucedió de manera posterior a otros países de mayor desarrollo, por lo cual en otros países también se consideraba un problema recurrente, pero con conocimiento previo y acciones ya realizadas al respecto. Esta problemática en Chile conllevaría a la creación de comisiones técnico-políticas y fundaciones de cuidado atmosférico, la cual también causaba conflicto por la falta de evidencia científica en esa época del siglo XX, lo cual al mismo tiempo lleva al

estado chileno a institucionalizar un nuevo sistema de control de aire para el año 1978 [1].

A pesar de todos los esfuerzos realizados a nivel de mitigación a nivel mundial y nacional, las emisiones ya llegada la segunda década del siglo XXI aún seguían en aumento, causando un eventual aumento de temperatura de manera gradual presente por el ya confirmado efecto invernadero.

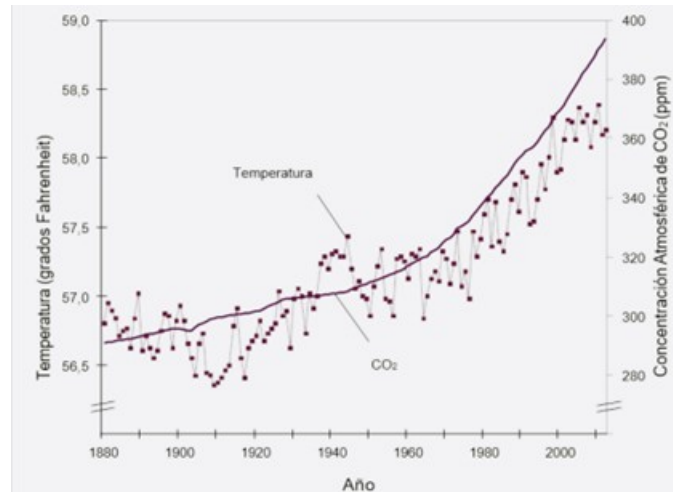


Figura 3.1: Se muestra una aproximación lineal del aumento de temperatura de forma global, junto con las concentraciones de emisiones de CO2.[2]

Debido al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, las temperaturas aumentan de manera gradual constante hasta la actualidad, donde según varios estudios científicos la diferencia entre las épocas preindustriales a la actualidad ya hay una diferencia de 1°C , donde se nota una constante tasa de incremento de $0,2^{\circ}\text{C}$ por cada década que pasa, donde incluso se puede notar de manera global y local, llegando a niveles de preocupación masiva.

Cambios de temperatura globales, °C, 2018

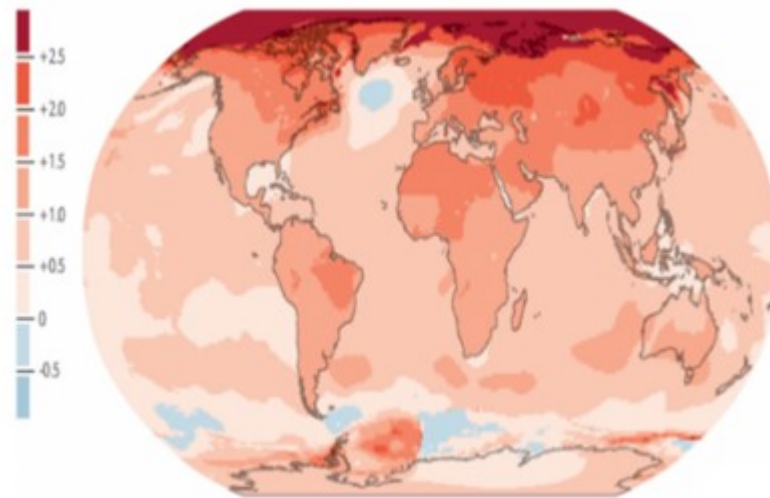


Figura 3.2: Zonas de aumento de temperatura en el planeta, notando que en Chile el aumento es de aproximadamente 1°C. [3]

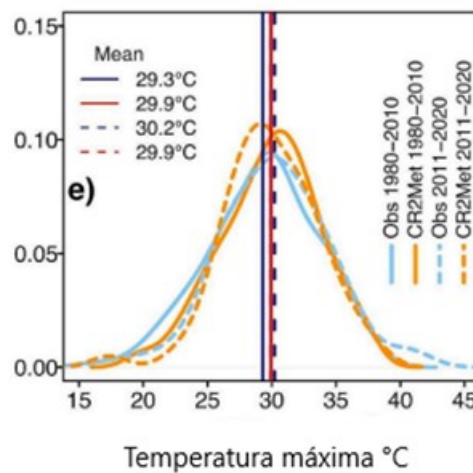


Figura 3.3: Datos de Chile de temperatura media y densidad de ella, notando que la mayor ocurrencia fue de la última década. [12]

3.2. Crisis Climática a nivel global

Debido a la gravedad del cambio climático, la cual a partir de este punto se referirá como crisis climática, el año 2015 se reunieron múltiples líderes mundiales en París, Francia, con el objetivo de llegar a un consenso con respecto a objetivos futuros lidiando el tema de grave urgencia. De esta manera se llega al acuerdo de París, el cual establece estos objetivos a realizar a largo plazo de manera global para todas las naciones:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de manera primordial con la meta de que el aumento de temperatura disminuya de forma que no se llegue a los 2°C, donde

ya habrían daños irreversibles, además se tiene la meta más ambiciosa para limitar incluso a 1,5°C

- Ofrecimientos de financiación a países en desarrollo con el propósito de mitigar efectos de la crisis climática y tener un poder de adaptación a esta problemática con una mejor preparación
- Revisar cada 5 años los compromisos de cada país involucrado para asegurar el cumplimiento del acuerdo.

Si bien este acuerdo se realizó en la fecha del 12 de diciembre de 2015, esta entró en vigencia un año después en la fecha 4 de noviembre de 2016, donde más de 200 países forman parte de este acuerdo, donde incluye a todos los partícipes de la Unión Europea y de Chile. [4]

Este busca que de manera global cada país pueda tener unos objetivos de disminución de emisiones contaminantes, por lo cual existe la revisión cada media-decena que asegure el compromiso individual de cada nación. La libertad de que medidas exactas se tomen a consideración es a elección de cada patria.

3.3. Crisis climática a nivel nacional

En el caso de Chile, es participante activo con respecto al acuerdo, no solo por el hecho del cuidado del planeta y la vida humana, sino que también la zona local cuenta con muchos criterios que cumplen un alto potencial de vulnerabilidad para la nación, como lo son un alto porcentaje de acceso al mar, llegando a ser afectado por inundaciones por la elevación de nivel marítimo. Zonas áridas que son más susceptibles a las sequías. Zonas de alta movilización urbana y contaminación atmosférica para zonas de mayor altura y lugares con ecosistemas nativos extremadamente frágiles, por lo cual cualquier cambio mínimo causado por la crisis climática podría tener grandes repercusiones.

Por el mismo punto, Chile tiene distintas medidas y acuerdos propios para contribuir de manera activa a resolver la problemática. Una de las principales medidas tomadas es la Ley marco de cambio climático, la cual corresponde a la Ley N°21.455, esta establece que para el año 2050 se logre la carbono neutralidad por lo menos a nivel nacional, con tal de ofrecer una resiliencia activa para enfrentar la crisis actual. Esta meta se actualizará cada 10 años, con el propósito de mejorar cada vez más las propuestas planteadas. [5]

Para lograr el cumplimiento de la anterior ley mencionada, se creó de manera casi simultánea la Ley de Eficiencia Energética (Ley N°21.305), esta plantea aportar hasta un 35 % de las reducciones de gases de efecto invernadero a través de la reducción de intensidad energética en distintos rubros, así tratando de reducir un 4,5 % para el año 2026 (meta de corto plazo y subsecuente revisión), un 13 % para el año 2030 y un 30 % para el año 2050. [7]

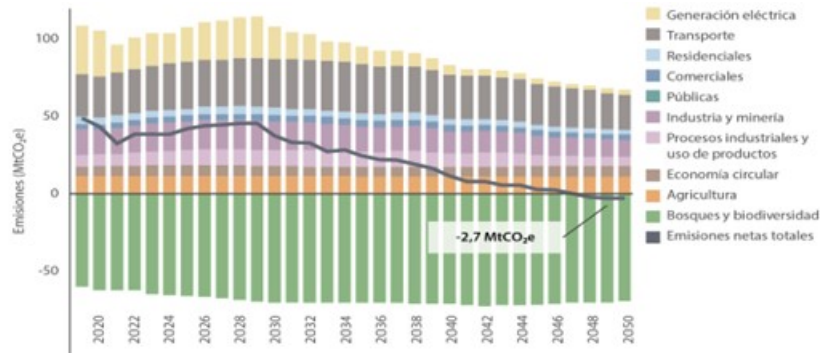


Figura 3.4: Emisiones de Chile proyectadas en vista de la carbono neutralidad. [6]

Se puede notar en el gráfico anterior como aumentar la biodiversidad, plantar bosques, variedad de flora y la mantención de áreas protegidas y ecosistemas nativos es un paso clave para poder llegar a la carbono neutralidad por lo menos en los que es de manera nacional, sin embargo también es una medida popular que se piensa aplicar en muchos otros países.

Este mismo plan de Ley de Eficiencia energética, se tiene 4 sectores donde se conllevan distintas medidas de mitigación y reducción, estas son las siguientes con sus distintas metas:

- **Sector de Producción:** Se conlleva la Ley N°21.305 para grandes consumidoras de energía (Más de 50 Toneladas de calorías al año) donde tendrán el deber de gestionar energías de mejor manera para no sobrepasar esa cifra. Se planea fomentar la gestión de energía en empresas más pequeñas. Se piensa actualizar el estándar mínimo de eficiencia energética en motores eléctricos (mayores a 7,5kW). Se quiere promocionar soluciones eficientes para usos térmicos y motrices en producción. Se busca mejorar la capacitación y certificación humana en eficiencia energética. Elaboración de nuevos indicadores de eficiencia energética y difusión mayor de beneficios y resultados de eficiencia energética en el rubro. Todas estas empezarán a tomar vigencia en 2022-2023, buscando disminuir aproximadamente un 30 % de consumo.
- **Sector de Transporte:** Se incentiva mediante la ley N°21.305 a el establecimiento de estándares de eficiencia energética para vehículos livianos, medianos y pesados. Se motivará a posibles financiadores de electromovilidad. Mayor despliegue de medios de transporte sustentables y eficientes. Mejoras en la infraestructura de carga de vehículos eléctricos. Se fomenta un mayor uso eficiente de los transportes. Se promueve la capacitación y certificación humana en eficiencia energética en transporte. Se impulsa a las industrias al fomento de nuevas investigaciones e innovaciones para tener un transporte eficiente de cero emisiones. Difusión de beneficios y resultados de eficiencia energética aplicada al transporte. Estas estarían tomando vigencia los años 2022-2023-2024 y podría disminuir hasta un 25 % su consumo.
- **Sector Ciudadanía:** Se realizará difusión de información ciudadana sobre la relevancia de la sostenibilidad eléctrica. Se potenciará un nuevo programa educativo de energía y sostenibilidad. Se etiquetará y ampliará el etiquetado de artefactos tecnológicos o de uso energético. Se actualizará y ampliará los estándares mínimos de eficiencia energética para artefactos tecnológicos o de uso energético. Se fomentará la difusión de etiquetado

de eficiencia energética para artefactos. Se fomentará un mayor recambio a artefactos eficientes. Se analizará el impacto de las ciudades inteligentes en la eficiencia energética. Se generarán instancias para una mayor planificación de coordinación institucional con cooperación. Estas tendrán vigencia a partir de los años 2022-2023.

- **Sector Edificaciones:** Se fomentará la actualización de estándares de eficiencia energética de las edificaciones mediante la aplicación de una tercera modificación en las normas para viviendas, se busca reducir la cantidad de energía térmica necesaria en dichas viviendas en alrededor de un 30 % en comparación con el estándar actualmente en vigencia para obtener energía neta 0. Se impulsará una nueva renovación energética en el sector de edificación. Se fomentará el reacondicionamiento térmico para viviendas existentes para reducir aproximadamente un 30 % de consumo en los hogares. Se realizará una calificación energética de viviendas y otras edificaciones. Se hará una implementación de eficiencia energética en edificios públicos. Se promoverán sistemas de climatización eficientes y sostenibles. Se habilitará energía distrital como alternativa de suministro energético. Se promocionarán instrumentos económicos. Se promocionará la capacitación y certificación humana de eficiencia energética para las edificaciones. Se hará una difusión de beneficios y resultados de la eficiencia energética aplicada a la edificación. Estas medidas tomarán vigencia los años 2022-2023-2024 y buscan disminuir el consumo final aproximadamente un 20 %.

Si se considera horizonte de tiempo hasta el año 2050, el costo total de la implementación de todas las medidas mencionadas sería aproximadamente 47 mil millones de dólares [8]. Sin embargo, los primeros tres sectores no tienen tanta relevancia para esta investigación como las medidas del sector energético de edificaciones, las cuales servirán de manera crucial para la obtención de datos para la programación futura.

En el contexto de sectores energéticos de Chile, con el objetivo de realizar una comparativa, el año 2019 la matriz energética primaria constaba de 345.647 Toneladas de calorías, donde el porcentaje de cada parte se constituían de la siguiente forma: 68 % de recursos limitados o fósiles (petróleo crudo 30 %, carbón mineral 22 % y gas natural 16 %), biomasa 23 %, hídrico 5 %, solar 2 % y por último eólico con solamente 1 %. Esto mientras que para la matriz de energía secundaria se generaban 301.629 Tcal, donde se distribuyen un 58 % petróleo y 22 % electricidad, donde esta última se compone de 41 % carbón, 26 % biomasa, 15 % gas natural, 11 % energía hídrica, 3 % energía eólica y 3 % energía solar.

En cuanto a lo que es potencia, el año 2021 se puede notar a través de datos del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), se contaba con una potencia de generación de 28.495 MW, donde hasta el 53,3 % corresponde a recursos renovables (Hídrico 24 %, solar 17,1 %, eólico 9,9 %, biomasa 1,5 % y geotermia 0,2 %), por lo cual el otro 46,7 % es de centrales termoeléctricas de carbón 17,8 %, gas natural 17,6 % y petróleo o derivados (11,3 %). Esto mientras que para la potencia eléctrica producida sería de 47.127 GWh, con porcentajes correspondientes a 59 % de plantas térmicas, siendo carbon 38 %, gas 18 % y petróleo 3 % y el otro 41 % siendo de recursos renovables, con hídrica 19 %, solar 11 %, eólico 7 % y biomasa 3 %. Estos resultados se pueden visualizar.

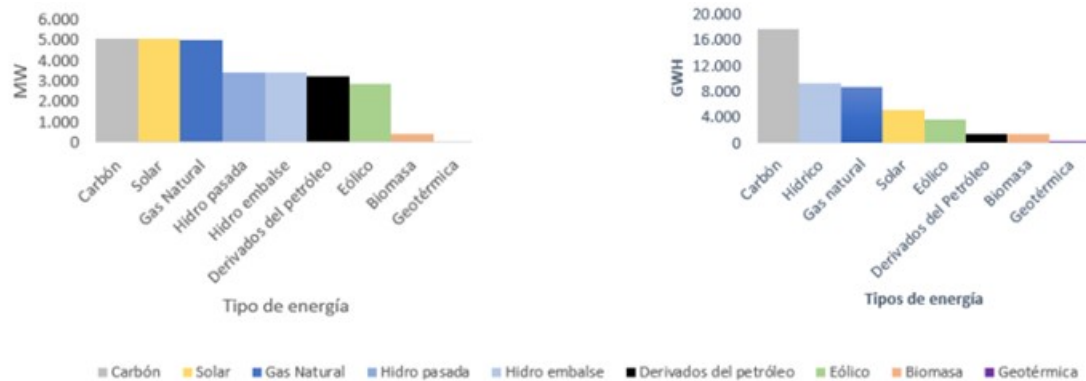


Figura 3.5: Visualización de las potencias generadas para distintos tipos de energías usadas de electricidad y su uso en Chile para el año 2021. [9]

En estos datos mostrados anteriormente, se puede visualizar que si bien las energías potenciadas por recursos renovables naturales están en un constante aumento, llegando a tener un impacto en la mitigación actual y van a muy probablemente ser el punto de inflexión en el cambio radical que se espera a futuro, aún el sistema eléctrico nacional depende grandemente de los recursos no renovables hasta el día de hoy y tienen una importancia no menor. Sin embargo, se puede notar como desde el 2014, donde el porcentaje de generación eléctrica de Chile constituía un 67 % de los recursos fósiles y derivados, se ha podido disminuir notablemente la dependencia de estos recursos, bajando un total de 14 % hasta el año 2021, por lo cual es un buen indicador de mejora en camino a la mitigación y reducción de gases de efecto invernadero, mostrando que los avances han sido certeros.

También correspondiente al tema, con tal de llegar a la carbono neutralidad para el año 2050, se piensa aplicar el retiro de centrales a carbón al año 2040 a través del Acuerdo de Retiro de Carbón gestado el año 2019, donde el plan sería el cierre de 8 centrales para el año 2024 y las 20 restantes (28 en total) se cerrarán para el año 2040. En cambio, llegado el año 2021 los planes se adaptan, donde en el nuevo escenario las 8 centrales dispuestas a cierre para el 2024 se adelantaron para fines del año 2021 y para el año 2025 el cierre de 18 en total, teniendo así la mitad cerradas para este año, permitiendo el uso de nuevas energías, entre ellas el hidrógeno verde. [10]

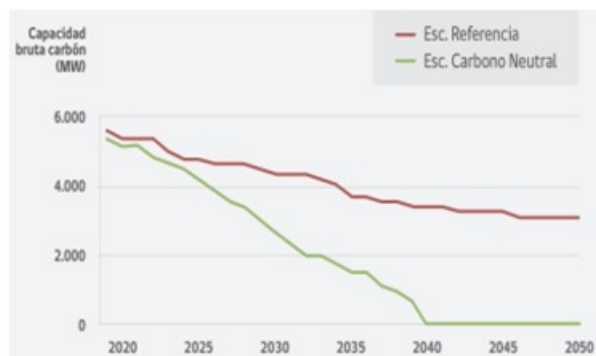


Figura 3.6: Simulación de escenario proyectado de retiro de carbón realizado por Ministerio de Energía el 2019. [11]

3.4. Proyección de Consumo Energético de Climatización

Todos estos procesos y medidas mencionadas serán de mayor influencia para el cálculo y programación futura de la herramienta de predicción de consumos energéticos, puesto que cada cambio que pueda tener las metas energéticas y variables de mitigación de cambio climático afectarían directamente en la cantidad de energía proyectada que se debería y podría gastar, dependiendo también del tipo de energía a utilizar y cómo cada medida proyecta su avance.

Una de las formas planteadas de reunión de datos certeros de cambios de temperatura serán las tendencias que se mencionó previamente, sacando datos concretos. Pero aparte de estos, se necesitarán datos de temperaturas proyectados a futuro. El proyecto Coupled Model Comparison Project (CMIP), el cual tiene como objetivo mejorar el conocimiento general del cambio climático, esto lo hacen a través de estudios e investigación donde pueden sacar datos y con modelamientos computacionales pueden simular situaciones futuras, donde aportan de manera directa en los informes del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático), donde la última edición disponible es el Sexto Informe. Este se conforma por 3 grupos: bases científicas, impacto y adaptación, y por último mitigación. Los datos necesarios para este trabajo corresponde al primero de bases científicas. Cada vez que se publica un nuevo informe, los resultados se van adaptando de mejor manera a la realidad, con usos de mayor exactitud y mejor tecnología con incluso más estudios. [13]

Con respecto al consumo energético de climatización (calefacción y refrigeración), se puede asumir con una confiabilidad altísima que son afectados a largo plazo por efectos del cambio climático y se puede asegurar con aún mayor certeza que la adaptación de sistemas energéticos ayuda a reducir los riesgos del cambio climático según el sexto informe de la IPCC, lo cual se espera que se pueda apreciar con la creación de la herramienta. [14]

Al mismo tiempo, con los informes de la IPCC, queda en claro que las proyecciones dependerían de escenarios de temperaturas, incluso de cuantos o cuales se tomen a consideración (pueden llegar a ser hasta 5 escenarios), la elección de estos casos se explicará a mayor profundidad en la primera sección de metodología.

Capítulo 4

Metodología

Ya sabiendo el contexto del trabajo a realizar, se vería la forma que se planea llevar a cabo el procedimiento en su totalidad y al mismo tiempo ajustar en caso de ser necesario.

Para la fase de programación, Python se consideraría como el medio de trabajo para la creación de la herramienta de predicción. Con esto nos referimos al lenguaje, para la aplicación en sí, puede ser tanto la misma aplicación de Python como derivados de esta, como lo son Visual Code Studio o Jupyter Notebook. Finalmente se utilizó al 100 % la utilización de VCS.

4.1. Proyecciones Climáticas

En la forma inicial de cómo abordar el trabajo, se tiene una idea preconcebida de escenarios a los que limitarse para tres distintos aspectos: cambio climático, metas energéticas y tipos de edificaciones a estudiar, con lo cual se podría tener una base para el comienzo.

Para el caso del cambio climático, se consideraron inicialmente con 3 escenarios posibles, sin embargo con la reunión de proyecciones de temperaturas se encontraron 5 escenarios totales del estudio de CMIP6 que se mencionó anteriormente, pero con explicación más profunda se resumen a estas:

- SSP 119: Aumentos casi nulos de temperaturas en total, siendo un aproximado de 0,4°C para todas las regiones, siendo un caso utópico y llamado meta Optimista
- SSP 1226: Aumento de temperaturas que respeta el acuerdo de paris y lo cumple llegando a un promedio de incremento de 1°C para todas las regiones. Esta sería la meta Semi-optimista
- SSP 245: Caso de aumento de temperaturas hasta los 1,5°C, pero los avances permiten cumplir la meta original del acuerdo de paris de 2°C, llamando a esta meta Realista
- SSP 370: Un aumento notorio de temperaturas hasta 2,5°C, no respeta el acuerdo de paris, llevando a resultados que eventualmente tendrían repercusiones de mal augurio con el avance del tiempo, este es el caso Semi-pesimista
- SSP 585: No sólo no se cumplen las metas propuestas mundialmente, sino que no se llega a una carbono neutralidad y no se ve una meta a cumplir para futuro, se ven aumentos

deteriorantes de 4°C o más, teniendo repercusiones catastróficas para mediano plazo, siendo este el caso Pesimista.

Para la obtención de datos, se planteaba usar algunos datos de modelos computacionales para el cambio climático nacional, siendo los datos del CMIP6 los que llamarían más la atención al momento para reunir y formar análisis, donde finalmente la obtención de datos proyectados fueron últimamente de temperaturas nacionales hasta el año 2100 reunidos a través de datos descargables de Climate Change Knowledge Portal con datos reunidos del mismo CMIP6 [15].

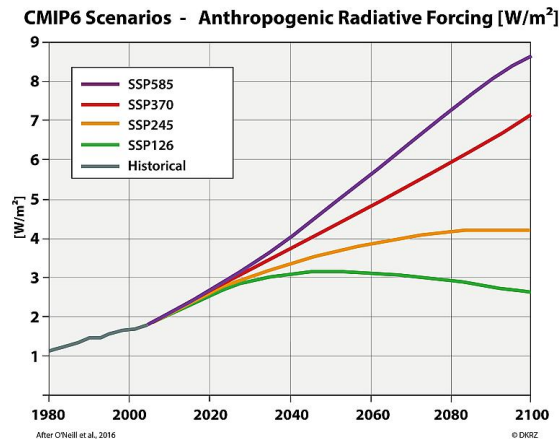


Figura 4.1: Una simple ejemplificación de la proyección de algunos casos climáticos vistos en Radiación [22].

Inicialmente se planteaba las metas energéticas eléctricas que se tuvieran solo dos escenarios para analizar, el primero de que la baja del consumo energético sea eficiente y además el recambio de energías se realice de manera efectiva (se combinan las metas de edificación por la Ley de Eficiencia energéticas con las medidas a realizar más factores externos). El segundo que considerara un recambio no óptimo de las nuevas energías y un consumo energético no muy diferente al de hoy en día. Sin embargo, no habían mayores fundamentos para agregarlo a la herramienta final, sobre todo porque no había informaciones futuras para ser utilizadas para los años más lejanos, por lo cual para análisis de resultados no se incluirán estas metas y no se mencionarán más a lo largo de este informe, quedando fuera de alcances totales e inconcluso.

Finalmente para el tipo de edificaciones se analizaran solo tipos de edificio de característica de oficina en la zona de Chile, con el objetivo de tener una menor amplitud de escenarios de edificaciones a analizar y así reducir ampliamente las variables que se puedan tener, llegando a definir dimensiones y características propias de la edificación. Aún así, no hay un dato exacto de la cantidad de oficinas que se encuentran en Chile, que incluso reuniendo datos del Ministerio de Energía, no hay mayores especificación al respecto, por lo cual se toman datos de viviendas y se toman medidas que se mencionarán más adelante.

Para la obtención de datos de edificaciones y sector de consumo energético se pensaba buscar en bases de datos, sea del Ministerio de Energía o estudios usados para las metas propuestas. Dependiendo de qué tan amplio sea el espectro de los datos, se considerará si tomar

promedios o casos específicos de análisis. Además para los edificios se buscará calcular con cargas térmicas, donde factores como radiación solar, latitud y características de la vivienda serían los más importantes y las proyecciones finales buscan que las temperaturas se puedan ver con mayor detalle qué valores anuales, sino más bien al nivel de días o incluso por hora para todo el año que se busca de proyección.

Tras un par de reuniones, se pudo obtener información de demanda energética anual para todas las residencias de Chile, donde se calculan estos en kW/año total, esta se simplificará en promedio por edificio y subsecuentemente se transformaría en kW/año m² con el hecho de tener una comparación con las formulaciones que se realizan.

4.2. Cálculo de demandas térmicas

Con los datos reunidos de los escenarios, se ven las fórmulas apropiadas para abordar la problemática y obtener la demanda energética de la oficina buscada para los escenarios planteados. Donde las fórmulas principales usadas en etapa preliminar fueron las siguientes:

- $$Demanda_c = Pérdidas_c - \text{Ganancias térmicas} \quad (4.1)$$

- $$Demanda_v = Pérdidas_v + \text{Ganancias térmicas} \quad (4.2)$$

- $$\text{Pérdidas de energía} = (Gv2 * V * 24 * GD)/1000 \quad (4.3)$$

- $$Gv2 = (\sum(U * S) + KI * P)/V + 0,35 * n \quad (4.4)$$

- $$\text{Ganancias Térmicas} = \text{Ganancias internas} + \text{Ganancias solares} \quad (4.5)$$

- $$\text{Ganancias Internas} = \text{Cargas de refrigeración} + \text{Cargas ocupacionales} \quad (4.6)$$

- $$\text{Cargas de refrigeración} = V * 0,34 * \Delta T \quad (4.7)$$

- $$\text{Ganancias solares} = S * R * f \quad (4.8)$$

Donde ζv "v.en subíndices corresponden a calefacción y refrigeración respectivamente y cada término de las fórmulas serían:

1. $Gv2 =$ Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales [W/m³K]

2. V = Volumen de vivienda [m³]
3. GD = Grados/día anuales
4. T = temperatura por día y base respectivamente [°C]
5. T^* = Temperatura de confort térmico [°C]
6. U = Transmitancia térmica [W/m²K]
7. S = Superficie [m²]
8. KI = Transmitancia térmica lineal [W/m³K]
9. P = Perímetro (m)
10. n = Renovaciones de aire por hora
11. V = Caudal de aire infiltrado o de ventilación (m³/h)
12. R = Radiación solar w/m²
13. f = factor de corrección

Con estas fórmulas utilizadas para obtener coeficientes y Grados día de manera anual (en base a datos anuales y mensuales) se puede determinar una demanda de climatización acertada, donde el método de adaptación de los datos a estas fórmulas se explicarían con los primeros resultados, donde además para poder calcular la carga ocupacional, obtener la radiación R y determinar las transmitancias térmicas U por zonas, se podrían extraer las informaciones pertinentes en las siguientes tablas de forma respectiva:

Grado de actividad	Temperatura seca del local					
	26°C		24°C		21°C	
	W		W		W	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentados, en reposo	61	41	67	35	75	27
Sentados, trabajo muy ligero	63	53	70	46	79	37
Empleado de oficina	63	68	71	60	82	49
De pie, marcha lenta	63	68	71	60	82	49
Sentado, de pie	64	82	74	72	85	61
Sentado, restaurante	71	90	82	79	94	67
Trabajo ligero en banco de taller	72	147	86	133	107	113
Baile o danza	80	168	95	153	117	131
Marcha, 5 km/h	96	196	111	181	135	158
Trabajo penoso	142	282	153	270	176	247

Figura 4.2: Cargas sensibles y latentes ocupacionales, donde a través de la temperatura del local se elige el caso respectivo, en este caso empleados de oficina.[16]

Latitud Norte	Mes	Orientación								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.
		Máximas aportaciones solares R (W / m2)								
30°	Junio	63	437	506	283	66	283	506	437	786
	Julio y Mayo	50	412	515	314	94	314	515	412	774
	Agosto y Abril	34	339	519	405	197	405	519	339	739
	Sept.y Marzo	28	283	496	478	329	478	496	283	666
	Oct. y Febrero	24	122	425	513	456	513	425	122	563
	Nov. y Enero	22	50	364	509	500	509	364	50	456
	Diciembre	19	37	329	509	513	509	329	37	412
40°	Junio	53	418	509	349	169	349	509	418	745
	Julio y Mayo	46	399	515	393	217	393	515	399	732
	Agosto y Abril	34	320	509	458	320	459	509	320	673
	Sept.y Marzo	28	182	469	509	440	509	469	182	575
	Oct. y Febrero	22	109	383	513	509	513	383	109	405
	Nov. y Enero	15	37	314	491	522	491	314	37	324
	Diciembre	15	31	270	465	519	465	270	31	267

Figura 4.3: Aportaciones solares según latitud y orientación del edificio, las cuales se ocuparon para los primeros cálculos.[16]

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	Transmitancia Térmica U [W/(m²K)]	Resistencia Térmica Rt [m²K/W]	Transmitancia Térmica U [W/(m²K)]	Resistencia Térmica Rt [m²K/W]	Transmitancia Térmica U [W/(m²K)]	Resistencia Térmica Rt [m²K/W]
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 4.4: Transmitancias térmicas para todos los elementos de la edificación, decidiendo con respecto al lugar ubicado.[17]

Con todas las indicaciones ya mencionadas, se deberían seguir una lista de pasos específica para obtener la demanda de energía total de la oficina:

1. Determinar Grados/días anuales (refrigeración y calefacción) con las temperaturas anuales y mensuales de cada región reunidas
2. Definir dimensiones de oficina estándar (largo, ancho, alto, perímetro)
3. Obtener transmitancias térmicas U por zonas, transmitancia térmica lineal del piso y renovaciones de aire por hora
4. Calcular ganancias térmicas internas y solares a través de cargas por ventilación, ocupación y radiación solar
5. Calcular demandas de energía para refrigeración y calefacción, obteniendo el resultado total de demanda de energía

Una vez realizadas todas las indicaciones anteriores, se podría determinar de manera aproximada la demanda de energía de climatización, donde existen algunos factores adicionales

que podrían añadirse al proceso (en caso de buscar perfeccionamiento).

4.3. Programación en Python

Teniendo claro las fórmulas a utilizar para el trabajo en su totalidad, procedemos a traspasar todas las fórmulas de teoría a excel y de este a Python y realizamos una programación apropiada para obtener cada demanda de climatización para todos los años en todas las regiones y todos los escenarios de cambio climático posibles.

La programación que se decidió utilizar fue, como se mencionaba anteriormente, el programa Visual Studio Code, donde se utiliza el lenguaje reconocido de Python. Esta decisión fue bastante fácil de tomar, puesto que la herramienta no debería tener una complejidad de nivel alto y la premisa en la teoría es realizable con las características que brinda el programa.

Para iniciar, hubo un traspaso primero que nada al programa de aquellos datos de la oficina que se van a mantener constantes durante todo el trabajo, estos son dimensiones, superficies y volumen. Además de esto se traspasan también constantes como los días de cada mes y temperaturas de confort (Se toman para esta ocasión 18°C y 20°C para calefacción y refrigeración respectivamente), al mismo tiempo también se importan librerías extra a utilizar, como lo son numpy y pandas. Así el código inicial se vería inicialmente a través de simples constantes, cada código de explicación de varias líneas de uso se podrán apreciar en la sección final de anexos, en este caso se puede apreciar lo explicado en el código A1.

Para estos primeros códigos utilizamos una lista de datos representando cuántos días tiene cada mes, la lista de Meses empieza con el dato 0 por comodidad, puesto que la lista de datos que se trabajaría para las temperaturas por mes inicia con un dato de promedio anual, lo cual no nos sirve para esta ocasión, así al multiplicar matrices este primer valor se descarta de inmediato.

Seguido a esto, se anotan datos que si bien son constantes, cambia su uso dependiendo de lo que busca el usuario que utiliza el programa, como lo son transmitancias térmicas de ventana o factor de meta energética, la cual como mencionaba previamente, no se vería utilizada en el código final para el caso de esta última mencionada, como se puede ver en el código A2.

Si bien a un inicio se buscaba tener dos transmitancias térmicas para las ventanas, se decidió de manera definitiva el uso único de ventanas monolíticas y no utilizar para las fórmulas las policristalinas, quedando estas dos como constantes que no varían en las fórmulas.

Una vez realizado el traspaso de estos datos al Visual Studio, la compilación o reordenamiento de los datos de temperaturas en excel tendrían que ser catalogados de alguna manera para ser usados de la forma más efectiva posible.

Este proceso tardó varias semanas e incluso meses en encontrar una forma apropiada de realización perfeccionada. Por lo cual para la herramienta como tal se utilizaron inputs que preguntan tanto el año, como la región y el panorama de cambio climático que el cliente quisiera utilizar, de manera que los datos puedan estar usables para cualquier cálculo sin

utilización aun de algún ordenamiento avanzado y complicado para testear, este se puede apreciar en el código A3.

Con ese código ya desarrollado, podríamos obtener los inputs necesarios para trabajar con datos individuales acotados para observar primeros resultados, donde para esto solo era necesario un diccionario de tamaño pequeño, donde para ejemplificar, si trabajamos en la región metropolitana para datos del año 2024 y un panorama optimista, se tendría de la siguiente manera:

Código 4.1: Primer diccionario utilizado para testeo.

```
1 Diccionario_1 = {  
2   (2024,'metropolitana', 'optimista'): Metropolitana_ssp119,
```

Siendo claramente `Metropolitana_ssp119` los datos para el caso optimista de manera anual. Para los datos mensuales se tendría un segundo diccionario que funcionaría de similar manera al anterior, solo que para datos mensuales y divididos en las respectivas tandas, donde del 2020-2040 tendrían una letra `.a`.^{en} el inicio de la lista de datos, letra `"b"` si corresponde al 2040-2060 y así respectivamente hasta el año 2100. Un ejemplo para demostrar, sería si para el mismo escenario usado anteriormente (Santiago,2024,Optimista) mostramos el diccionario 2.

Código 4.2: Segundo diccionario utilizado para testeo.

```
1 Diccionario_2 = {  
2   (2024,'metropolitana', 'Optimista'): aMetropolitana_meses119,
```

Cabe destacar que para estos diccionarios solo se muestra un vistazo pequeño de lo que son en la realidad, puesto que la totalidad de listas de datos anuales y mensuales de temperatura son de un total de 439. donde las listas mensuales constan de 13 datos y los anuales de 85. Por lo cual hay en su conjunto 11.395 datos individuales de temperaturas locales.

Seguido a este paso, se calcularon los valores de ganancia solar de manera distinta a como se planteaba en la metodología preliminar, donde se utilizaron datos del explorador solar del ministerio de energía [20] para obtener irradiaciones solares de cada región y se asumen los datos como constantes a lo largo del horizonte de tiempo planteado (2100), esta decisión se tomó por la razón que las radiaciones pasadas calculadas tenían menor fundamento y lógica para ser utilizados para las fórmulas planteadas, por esta razón se optó por tomar datos en concreto que tienen razonamientos sólidos para los resultados que se obtendrían, por lo mismo se tiene presente el cambio de resultados finales que podría causar esta determinación. Este último punto se mencionará ya teniendo resultados definitivos para discutir si afectaron a los resultados finales de manera significativa y si fue una decisión acertada o no.

Con este método se usan las sumatorias de los promedios mensuales, los cuales al mismo tiempo se usan promediando la radiación de cada día de un año determinado y así obtener una media para cada mes en particular de manera más exacta. Este método se escribe en el programa de la siguiente manera utilizando las fórmulas ya propuestas (si se quisiera calcular

la radiación solar de Chile por ejemplo, para emitir redundancias).

Código 4.3: Radiaciones y sus sumas utilizadas en la fórmula de ganancias solares.

```
1 #Radiaciones por zonas (kWh/m2/dia)
2 SumaRadiacion_Chile = sum(Radiacion_Chile)
3 #Ganancias solares
4 GsChile = (Aof*Anof*1.17*SumaRadiacion_Chile*12/1000)
```

Una vez anotados todos los datos de temperatura, radiación y diccionarios para asociar cada lista, se anotan las fórmulas para hacer posible una combinatoria de funciones para que el resultado de un consumo energético del año, región y escenario que se coloca en el input.

Para esta ocasión utilizamos 2 fórmulas principales de recolección de datos que necesitamos, la primera es de obtención de datos anuales, donde saca los 3 datos usados para la interpolación anual (X_0 , X y X_1), donde son respectivamente año anterior, año actual y año siguiente, donde para el año 2100 simplemente se usa un promedio. seguido a esto se obtienen los datos mensuales correspondientes, donde el resultado son 2 listas correspondientes a las tandas de años que trabaja la interpolación, estos son la tanda de 20 años actual y la tanda anterior (si se trata de la primera tanda de 2020-2040, se usa de tanda anterior datos del 2019 para cada región conseguidos de la página WeatherSpark [21]. Estas programaciones se pueden notar en el código A4.

Cabe destacar que para la obtención de datos anuales se hacen a través de años consecutivos para una interpolación simple inicial, lo cual se analizará a futuro al comparar resultados si es la opción correcta o se cambiará al tener una mejor idea.

Al mismo tiempo para la obtención de datos actuales se utilizó la lista de datos anteriores de las distintas regiones correspondientes al 2019, con el fin de evitar nuevamente cualquier redundancia y poder dar una mejor idea de cómo se comporta el código de programación teniendo la formulación concisa para el entendimiento del lector.

Con los datos necesarios procesados por la programación, se puede realizar a continuación la fórmula de interpolación simple, esta funciona como se muestra en el código A5 en el anexo.

Con esa programación se asegura la obtención de una lista final de resultados interpolados para la valor incógnita de Y . Al mismo tiempo, programamos en el caso necesario que X_1 sea igual a X_0 , lo cual en teoría no debería pasar en un caso de interpolación lineal, pero al no saber si las temperaturas se comportan de esa manera (e incluso probablemente no sea el caso), se prepara una fórmula adicional que promedia valores para obtener un valor Y que cumpla igual con lo que se busca.

Al mismo tiempo, habiendo mencionado el hecho de que se asume como proceso lineal, cabe destacar que los resultados son aproximados y pueden ser alejados de lo que se busca, por lo cual la interpolación es la manera más cercana de obtener una aproximación de las temperaturas con las que buscamos trabajar.

También recalcamos el hecho que en sí, como se mencionaba previamente, la interpolación no es perfecta y se podría mejorar aún más, por ejemplo en la obtención de datos anuales se podría realizar tandas de 9 o 10 años en vez de años consecutivos, con el fin de tener resultados más cercanos a las tandas mensuales de 20 años. Este proceso igualmente cambiaría de manera drástica los resultados, por lo cual se mantiene el resultado con este procedimiento y se analizará esta decisión con los resultados y discusiones.

Antes de mostrar la función de predicción final, se mencionan algunas fórmulas menos útiles para el proceso, pero igualmente se utilizaron para simplificar ciertos procesos, estas se pueden apreciar en el anexo código A6.

Se utiliza la multiplicación de listas para manejar la lista de interpolación con los meses, la función de seleccionar_dato se utilizó de manera explícita en las funciones de obtención de datos anuales, por lo cual no tuvo mayor utilidad. Ajustar lista se utiliza para las cargas de ventilación con las temperatura bases dispuesta (18°C y 20°C) y por último se utiliza las función de positivo o negativo y de calefacción y refrigeración para dividir grados días de estos casos respectivos.

Finalmente se tiene la función terminada de predicción, donde entrega como resultado final la demanda de energía de climatización para la oficina dispuesta en metros cuadrados. Este se puede apreciar en el código A7.

En esta función final se aplicaron todas las fórmulas y funciones explicadas previamente, sin embargo hay algunos cambios de signos que cambian significativamente con respecto a cómo se formulaba para los resultados preliminares calculados usando Excel, estos ocurren al momento de calcular las demandas energéticas de climatización de calefacción y refrigeración y al momento de las sumas de ambos consumos energéticos, donde se aplican a los grados días y demandas un cambio a valor absoluto.

La verificación para ver si esta decisión fue la correcta se conocerá al analizar los resultados, de haber algún error se analizaría con detención al obtener estos productos.

Esta programación si bien entrega el resultado que buscamos de demanda energética en una oficina por metro cuadrado, este entrega solamente el resultado del año exacto que se responde en la pregunta "¿Para qué año quieres ver la predicción? (2024-2100):", lo cual para querer realizar un análisis de resultados de manera exhaustiva, este método resultaría muy lento a largo plazo.

Este motivo conllevó a un reordenamiento de datos de orden mayor para crear una nueva función que no solo entregue resultados para todos los casos, años y regiones, sino que también cree una tabla de excel organizada, haciendo que el análisis de los datos se realice con mucha mayor facilidad y rapidez.

El paso principal con el cual se realizó este proceso fue la creación de un nuevo (y único) diccionario a utilizar, el cual tendría todos los datos usados a su disposición. Este funciona de manera que separa en sub-categorías en un orden necesario para distinguir cada lista, primero en base a la localidad/región, después en base a la elección de datos anuales o men-

suales (y en caso de ser mensuales en qué tanda se ubica), y por último están los escenarios climatológicos de temperaturas y se separan de ahí cada lista.

Al mismo tiempo también se tienen las transmitancias térmicas lineales de la oficina para cada elemento dependiendo de la región que esté ubicada y los datos anteriores utilizados para la obtención de datos mensuales usados después, teniendo cada variable incluida en este escenario. Con el fin de visualizarlo, se mostrará cómo funcionan los datos para la localidad de Chile en general. Este se aprecia en el código A8.

Con este diccionario realizado, se hacen un par de cambios a las funciones de obtención de datos, y quedarían adaptadas al nuevo formato llamando al diccionario. Se muestran de manera general en el código A9.

Al mismo tiempo también se modifica gv2, de manera que se crea una función aparte y se llama en hacer predicción, puesto que dependen de la región correspondiente que se esté manejando, lo cual se puede ver en el código A10, donde se puede ver como se llama al diccionario utilizado.

Finalmente, se modifica la función de hacer_prediccion para que dependa del año, región y panorama y se cree una función que se llamaría crear_excel que cree un archivo con todos los datos que pedimos para cada escenario y así obtener todos los resultados en total. Este se representa con el último código de los anexos (código A11).

Para finalizar, se llama al código Crear_excel() y se analiza el archivo constituido por el programa.

Capítulo 5

Resultados y Discusiones

5.1. Datos de consumo energético

Los resultados preliminares hasta la instancia de los primeros avances entregados fueron simplemente una comparación usando las fórmulas de demanda energética usadas en la metodología con los datos actualizados por el ministerio de energía donde los números conseguidos de los años 2017-2022 fueron los siguientes, (solo se mostraran datos hasta el año 2019 por un tema de demostración, para los datos faltantes 2020-2022, ver anexo) [19]:

Tabla 5.1: Tabla de consumo energético de electricidad del ministerio de energía de los años 2017 al 2019.

	Año	2017	2018	2019
Cantidad de edificios registrados	n°	2.575	2.738	2.845
Solo Electricidad	n°	2.424	2.573	2.670
Mixtos (Electricidad y GN)	n°	151	165	175
Superficie total registrada	m ²	1.758.506	2.640.631	10.658.437
Solo Electricidad	m ²	1.497.385	1.785.535	2.284.099
Mixtos (Electricidad y GN)	m ²	261.121	855.096	8.374.338
Consumo Electricidad	kWh/año	100.952.474	111.427.126	126.044.276
Consumo Gas Natural	kWh/año	19.952.245	29.364.267	47.073.175
Consumo Electricidad y Gas Natural	kWh/año	120.904.718	140.791.393	173.137.633
Emisiones Totales	ton CO ₂ /año	49.609	52.582	60.640
Gasto Total	MM\$/año	14.349	15.848	24.432

Sin embargo de estos datos solo nos interesaría la cantidad de kWh/año para edificios de uso eléctrico, donde además buscaremos tener promedio de estos edificios y dividirlo en la superficie promedio de estos para tener así datos comparables con una oficina estándar para el estudio. De esta tabla calculamos los números que nos serían útiles y se podrían visualizar de la siguiente manera:

Tabla 5.2: Consumos energéticos promedios calculados según los datos de Ministerio de Energía.

Año	kWh/año prom	m2/prom	kWh/m2año prom
2017	41.647,06	617,73	67,42
2018	43.306,31	693,95	62,41
2019	47.207,59	855,47	55,18
2020	37.466,45	755,38	49,60
2021	50.939,43	905,58	56,25
2022	52.424,86	1206,87	43,44

De esta forma obtenemos un parámetro decente de comparación para establecer características apropiadas para cálculos y predicciones futuras. Cabe destacar que para este propósito solo se consideraron edificaciones de uso netamente eléctrico, puesto que en mezcla híbrida dá espacio para incluir empresas de proporciones mucho mayores del edificio común, por lo cual al ser consideradas, los resultados pueden terminar siendo injustamente comparados, causando eventualmente un margen de error mucho mayor que podría terminar impactando negativamente este trabajo.

5.2. Interpolación y pruebas iniciales de proyección en la RM

En el asunto que trata las temperaturas, como se mencionaba previamente se consiguieron las proyecciones de temperatura para 5 escenarios distintos, donde se tienen datos para todos los años de temperaturas anuales para cada región del país y además se tienen temperaturas para cada mes pero con rangos de cada 20 años, estas se pueden visualizar en los anexos sección de temperaturas de rangos de 20 años.

Sin embargo, con estos datos surgió un problema importante, que es el hecho que para años proyectados futuros no se detallan temperaturas mensuales exactas, con lo cual no se podría tener los grados/días anuales al no tener temperaturas por día, para solucionar este suceso se pensó en aplicar el método de interpolación simple, donde funcionaría de la siguiente manera:

$$y_x = y_0 + ((x - x_0)/(x_1 - x_0)) * (y_1 - y_0) \quad (5.1)$$

Donde cada uno de las variables y constantes serían las siguientes:

Tabla 5.3: Modelo de interpolación explicado con constantes y variable.

Interpolación	Promedio anual	Promedio mensual
Año pasado	X0 (conocido)	Y0 (conocido)
Año actual	X (conocido)	Yx (incógnita)
Año futuro	X1 (conocido)	Y1 (conocido)

De esta manera se puede determinar el promedio mensual para cada uno de los años que se quieran calcular teniendo disponibilidad de datos precisos de algún año pasado y de algún año futuro.

Con este método simplemente se multiplicaría por cada día de cada mes el dato de temperatura con tal de estimar una temperatura diaria, así obteniendo una aproximación de los grados/días anuales.

Con este método ya mencionado, se decidió hacer un par de ejemplos comparativos para ver que tan confiable es el método con todas las fórmulas mencionadas para comparar con la demanda energética de los años 2017 y 2018, para esto nos dimos características (dimensiones y suposiciones) de una oficina estándar en Santiago de Chile para estos mismos años y ver su demanda energética para poder medir la diferencia o validez del método propuesto, con este propósito nos dimos las siguientes características de una oficina estándar:

1. Oficina: Largo = 10 m
2. Oficina: Alto = 2.5 m
3. Oficina: Ancho = 6 m
4. Oficina: Perímetro = 10 m
5. Edificio con orientación Norte
6. Oficina: S = 60 m²
7. Oficina: V = 150 m³
8. S muros = 25 m
9. S ventana = 12 m²
10. S puerta = 2,5 m²
11. Q (caudal) ventana = 36 m³/hr
12. T* = 18°C (Se aplica para calefacción y refrigeración por el momento)
13. n = 1
14. Asumimos 5 empleados de oficina para carga ocupacional
15. Tomamos Transmitancias térmicas con datos respectivos de la región metropolitana (zona3)
16. f = 1,17 (Asumido por comodidad en caso de tener marcos metálico en ventanas)

Con estos datos dieron las siguientes tablas de datos del 2017 y 2018 respectivamente con cargas de ventilación y Grados/días mensuales, sumados para todos los meses se obtendría números anuales, donde además se separarían los grados/días dependiendo del resultado negativo o positivo que de la diferencia con la temperatura de confort térmico de 18°C.

El proceso de estos cálculos se muestra a mayor profundidad en el anexo (grados días, cargas de ventilación), sin embargo, las ganancias internas y externas que dieron para ambos ejemplos del 2017 y 2018 fueron los siguientes:

Tabla 5.4: Ganancias calculadas con las fórmulas anteriormente mencionadas.

Ganancias internas 2017	2566,28
Ganancias solares 2017	2552,26
Ganancias internas 2018	2566,69
Ganancias solares 2018	2552,26

Para las ganancias internas se suman todas las cargas de ventilación del año con la carga ocupacional de la oficina, en esta última sumamos las cargas sensibles y latentes para una oficina de 21°C considerados dentro del local, multiplicamos por 5 (empleados), los días totales del año (365) y finalmente por la cantidad de horas promedio por día que afecta este punto (12 horas).

Mientras que para las ganancias solares se multiplican la superficie de los muros por el factor de corrección 1,17 y se suman todas las máximas aportaciones solares (las cuales se multiplican por la cantidad de días del mes que corresponda) y así se obtendría las ganancias solares totales.

Con las ganancias térmicas obtenidas, se calculan los coeficientes volumétricos globales.

1.

$$Gv2 = ((\sum U * S) + KI * P)/V + 0,35 * n \quad (5.2)$$

2.

$$Gv2 = ((0,47*60+1,9*25*2+1,9*15*2+1*2,5+3,6*12+0,7*10)/150)+0,35*1 \quad (5.3)$$

3.

$$Gv2 = 1,903 \quad (5.4)$$

Notamos que este valor es el mismo para ambos años puesto que es en la misma localidad y mismas dimensiones, por lo cual solamente las ganancias térmicas y los grados/días definen una diferencia importante. Ahora solo queda determinar ambas demandas de energía y sumarlas.

5.3. Discusión de pruebas preliminares

De la tablas anteriores podemos comparar con la tabla de demanda energética del ministerio de energía donde específicamente para los años 2017 y 2018 nos interesa ver el consumo

Tabla 5.5: Demandas de energías calculadas.

	Calefacción	Refrigeración	Total
Demanda de energía kWh/año 2017	1874,01	2725,09	4599,1
Demanda de energía por m2 2017	31,23	45,42	76,65
Demanda de energía kWh/año 2018	1853,05	2723,37	4576,42
Demanda de energía por m2 2018	30,88	45,39	76,27

Tabla 5.6: Demandas de energías por m2 para los ejemplos usados.

	kWh/año prom	m2/prom	kWh/m2año prom
2017	41647,06	617,73	67,42
2018	43306,31	693,95	62,41

total por superficie de vivienda promedio, donde estas son:

En base a estos números se puede notar inmediatamente primero que los márgenes de error no son inexistentes siendo para los años 2017 y 2018 de 13,7 % y de 22,2 % respectivamente, lo cual a pesar de todos los ajustes es de esperarse, puesto a que no solo es una aproximación en base a muchos supuestos, sino que además hay muchos factores que no solo necesitan calibración sino que además faltarían por agregar.

Un aspecto importante a notar es que si bien los cálculos de temperatura ya están casi todos considerados, faltaría cambiar el aspecto de cálculo de la radiación solar, donde la localidad de la oficina a analizar cambie este número (igualmente se mantendría constante a lo largo de los años por simplificación del problema). Al mismo tiempo no se ha considerado la presencia del factor de la humedad y se decide obviar debido a que no hay una inclusión que pueda mantenerse de manera consistente para las fórmulas a lo largo del horizonte de tiempo que se hayan analizado, igualmente este elemento se incluía dentro de lo que son las proyecciones del CMIP6, por lo cual no se le adjudica una relevancia mayor.

Ya mencionados los aspectos de temperatura, faltaría la necesaria inclusión de un factor que considere lo que es el aspecto de la posible disminución futura de consumo energético en edificaciones, donde como se mencionaba previamente en el informe, para el 2030 se busca la meta de disminuir hasta un 30 % el consumo energético para todas las edificaciones. Este parámetro lo tomaríamos como un factor de disminución de la demanda de energía al no tener información de cómo van a ser las metas energéticas futuras, para esto se consideran 3 escenarios de manera preliminar, el primero de cumplir la meta exitosamente(30 %), el segundo que no se cumple la meta pero igualmente hubieron reducciones de gastos (15 %) y en el tercero de nulo cumplimiento y de mantención de consumo tal cual a como son los años actuales (%). Finalmente se toma la decisión de no incluirla en lo que consta los resultados de programación, si bien esto es de programación muy sencilla y está incluido en lo que es la herramienta final como un factor aparte, no se encuentra en los códigos mencionados. La razón principal siendo la falta de fundamentos sólidos para incluirlo en el análisis final de los datos, tanto por la incertidumbre futura como la falta de metas contundentes pasados los años 2030, por lo cual la inclusión de esta no reflejaría un resultado final completamente

transparentado, por lo cual simplemente no se menciona más adelante, incluso estando la posibilidad de incluirlo en la herramienta finalizada.

Por último, se recalca el hecho que ambos resultados de demanda energética de climatización de los años 2017 y 2018 son extremadamente parecidos, siendo separados por menos de 4 décimas. Después de un breve análisis, se determina que la razón principal de este hecho es debido a la utilización de las mismas temperaturas en la interpolación simple, puesto que se tenían temperaturas certeras de los años 2015 y 2019 [18], esto causó una coincidencia de 4 de las 5 constantes, por lo cual la diferencia de grados/días y cargas de ventilación iban a ser muy similares. También es importante mencionar que este es un problema que para las proyecciones futuras probablemente no se tenga, puesto que para cada año se piensa utilizar los años en serie, esto significa usar el año inmediatamente anterior e inmediatamente futuro, sin embargo es inevitable que haya una similitud de demandas energéticas para años seguidos debido a la naturaleza de la problemática, por lo cual queda considerado parte del margen de error posible dentro de los cálculos, el hecho si este evento pueda ser reflejado en los resultados finales quedan pendientes a ser analizados teniendo los resultados de la herramienta de programación.

5.4. Resultados de programación a primera instancia

Con la metodología ya implementada, tanto para la herramienta con inputs, como para el análisis de resultados, se procede a ver el archivo con cada consumo energético de climatización en todos los escenarios planteados. Estos se verán, en caso de faltar alguna tabla de datos crucial, de manera más completa en los anexos, sin embargo se analizarán puntos importantes en tablas incluidas en esta sección.

El primer punto a considerar es analizar si los resultados de consumo energético de climatización están dentro del rango esperado que se planteaba y si se comporta de la manera que debería, donde se tiene que mencionar obligatoriamente que se verán tanto los resultados iniciales sin correcciones, como la versión finalizada de todo el proceso. Es importante recalcar este último punto por el hecho que uno de los aspectos más importantes de este trabajo fue la necesidad de corrección a través de ensayo y error, por lo cual se mantiene la fidelidad a este proceso, donde no necesariamente se incluye cada modificación realizada en esta sección, simplemente se mencionan los hechos cruciales para el progreso de la herramienta.

Para empezar, del primer intento de obtención de resultados (donde se suman ambas demandas de climatización), los datos no están tan alejados en rango a lo que se esperaba, sobre todo considerando que no se implementa el factor de meta energética, los resultados están dentro del rango de los 100 - 200 kWh/m² por año para todos los escenarios y todas las regiones, lo cual no es tan distinto a lo que podría eventualmente dar (a excepción de algunas regiones con menores temperaturas, sin embargo en estas hay consumo energético por calefacción).

El problema se encuentra en el segundo punto, donde se puede notar de manera clara y absoluta que los consumos energéticos no respetan el patrón esperado de aumentar a medida que el escenario de cambio climático se agrava, al contrario, los consumos energéticos dismi-

nuyen y sin excepción alguna, sobre todo si se observan datos de la última década.

Tabla 5.7: Tabla de ejemplo de la Región Metropolitana los últimos 5 años proyectados.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Metropolitana	optimista	127,9085	128,1174	127,9486	127,7571	127,9831
	semi optimista	127,1891	127,0919	127,3481	127,1926	127,2021
	realista	124,3907	122,2269	120,1098	125,547	125,1975
	semi pesimista	126,371	122,204	122,6549	124,5334	122,8319
	pesimista	154,3401	122,8454	120,5666	117,5675	121,1377

En la tabla adjunta donde muestra los últimos 5 años de la región metropolitana (con datos expresados de demanda de climatización en kWh/m² año), se puede ver claramente como en el escenario optimista hay un mayor consumo energético de climatización en total, mientras que en el escenario pesimista es el menor. Este resultado es completamente inesperado y contra lo que se planteaba y debería ocurrir. Si bien no es un dato que se comporte de manera lineal por la característica de aleatoriedad que hay presente (no solo en la temperatura, pero en factores desconocidos igualmente), no hay una razón en específica que pueda explicar claramente porqué ocurre este fenómeno.

También se tiene que mencionar que este hecho no es un caso aislado como se mencionaba previamente, esto ocurre en todas las regiones sean de la zona norte o zona sur, donde se ven los mismos indicios.

Hay 3 ocurrencias que podrían explicar la situación con respecto a la no concordancia de los datos con respecto a lo que esperábamos.

1. Aumento de consumo energético de climatización con climas más fríos por una mayor calefacción al contario de la refrigeración
2. Algún mal uso de las fórmulas en algún o varios puntos que necesite cierta corrección (cargas, ganancias, pérdidas, interpolación)
3. Datos erróneos de Climate Change Knowledge Portal para el caso específico de Chile.

De estos 3 puntos, el último lo podemos descartar de inmediato puesto que es muy poco probable, e incluso si fuera cierta esa afirmación, son los únicos datos con los que podemos contar para este estudio, por lo cual no hay que siquiera involucrarse en arreglar un punto que estaría fuera de nuestros alcances.

Mencionado esto, solo necesitamos enfocarnos en los 2 primeros puntos, que son en los únicos que podríamos estudiar, verificar y hacer algo al respecto.

Se puede partir con el primer punto, donde para verificar su veracidad simplemente se necesitaría analizar el caso de otras regiones, idealmente una con más tendencia al calor, una

más tendiente al frío y una central, donde ya tenemos el caso de la Región Metropolitana demostrado. Solo faltaría una de la zona norte (Arica por ejemplo) y una de zona sur (Aysén serviría).

La teoría planteada en el primer punto indicaría que por utilizar mayor calefacción, las zonas más frías tendrían un mayor consumo energético de climatización que en las zonas de mayor temperatura al tener un mayor demanda por calefacción, analizando las tablas a continuación se determinaría si es el caso dicho.

Tabla 5.8: Tabla de datos de Arica los últimos 5 años de la proyección.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Arica	optimista	117,568	118,4325	118,0796	118,3884	118,2905
	semi optimista	114,6535	115,6946	115,3102	115,2865	115,665
	realista	112,8986	111,896	112,9444	112,6812	112,0514
	semi pesimista	111,2093	109,6872	113,5649	112,9305	109,4803
	pesimista	109,3351	107,6667	111,0574	106,8148	107,7978

Tabla 5.9: Tabla de datos de Aysén los últimos 5 años de la proyección.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Aysén	optimista	138,3767	138,4227	138,3719	138,3638	138,3673
	semi optimista	137,4383	137,4128	137,4341	137,4852	137,4213
	realista	136,3745	135,5121	136,2765	135,0417	135,7473
	semi pesimista	140,7355	134,2159	135,3396	134,4082	133,9797
	pesimista	134,0293	132,0361	133,9399	139,5991	132,5709

Al ver las tablas de estas regiones de extremos opuestos, podemos notar que lo propuesto termina teniendo concordancia adecuada, precisamente en los lugares de mayor temperatura hay menor consumo energético de climatización y lo contrario también se cumple.

Esto podría indicar que las demandas de calefacción superan ampliamente a lo que es la demanda de refrigeración, por lo menos en lo que corresponde al sistema utilizado actualmente de formulación y la herramienta en general.

Sim embargo, esta es una simple hipótesis de los resultados obtenidos y no podemos tener un análisis completo solamente con estas tablas, por lo cual se toma la importante decisión de analizar por separado cada demanda de climatización, esto sería separar calefacción con refrigeración.

Este hecho hizo que se corrigiera una parte crucial a la hora de realizar el análisis, donde se aprende que necesariamente se necesita diferenciar cada demanda por separado, donde primero veremos para la región de Arica y seguido para la región de Aysén para revisar y corroborar lo planteado anteriormente.

Tabla 5.10: Tabla de datos de Arica en demanda de calefacción los últimos 5 años.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Arica	optimista	-3399,18	-3404,5	-3402,55	-3404,25	-3403,71
	semi optimista	-3357,19	-3365,52	-3363,12	-3362,97	-3365,33
	realista	-3305,69	-3273,26	-3306,95	-3299,55	-3278,46
	semi pesimista	-3247,87	-3175,1	-3327,32	-3311,57	-3163,86
	pesimista	-3156,34	-3016,51	-3239,03	-2938,52	-3028,51

Tabla 5.11: Tabla de datos de Arica en demanda de refrigeración los últimos 5 años.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Arica	optimista	3654,894	3701,455	3682,228	3699,052	3693,716
	semi optimista	3522,027	3576,159	3555,488	3554,215	3574,569
	realista	3468,229	3440,501	3469,711	3461,32	3444,622
	semi pesimista	3424,69	3406,127	3486,569	3464,257	3404,956
	pesimista	3403,767	3443,494	3424,418	3470,369	3439,359

Tabla 5.12: Tabla de datos de Aysén en demanda de calefacción los últimos 5 años.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Aysén	optimista	-3825,85	-3826,68	-3825,77	-3825,62	-3825,68
	semi optimista	-3808,91	-3808,45	-3808,84	-3809,76	-3808,61
	realista	-3789,71	-3774,14	-3787,94	-3765,65	-3778,38
	semi pesimista	-3868,44	-3750,74	-3771,02	-3754,21	-3746,47
	pesimista	-3747,37	-3711,39	-3745,75	-3847,92	-3721,04

Tabla 5.13: Tabla de datos de Aysén en demanda de refrigeración los últimos 5 años.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Aysén	optimista	4476,751	4478,68	4476,548	4476,206	4476,353
	semi optimista	4437,388	4436,316	4437,209	4439,353	4436,673
	realista	4392,764	4356,589	4388,653	4336,857	4366,455
	semi pesimista	4575,692	4302,217	4349,353	4310,282	4292,309
	pesimista	4294,39	4210,782	4290,637	4528,025	4233,213

Analizando ahora estas tablas con los resultados explícitos de calefacción y refrigeración en Arica y Aysén quedan 2 puntos bastante claros.

1. La demanda de calefacción efectivamente es mayor (en magnitud) en regiones que hay tendencia a menores temperaturas, que es lo que se esperaba desde un inicio.
2. La demanda de refrigeración **NO** sigue la tendencia esperada que serían mayores en zonas de mayores temperaturas y de hecho se nota la misma tendencia que en la demanda de calefacción.

Si bien la demanda de calefacción es negativa en casi todos los escenarios (hay excepciones en el que la demanda da positiva), esto es esperable por la formulación usada, donde en la gran mayoría de los escenarios las ganancias térmicas son mayores a las pérdidas, quedando el resultado en negativo por planteamiento, donde se toma el valor absoluto en este único caso.

Al sumar ambas demandas en valor absoluto se esperaría que con el tiempo el valor de consumo energético se incrementa para todas las regiones, donde la demanda de calefacción disminuiría en su magnitud y la demanda de refrigeración incrementa a paso constante, por lo cual fue una total sorpresa que los resultados no reflejaron este caso, incluso con la idea mencionada previamente de la causa de desconcierto.

Con estos datos visualizados, sólo se podría inferir que si bien el primer punto es en parte una certeza, hay un indicador claro que en algún momento de la formulación, escritura o cálculo hubo un error para la obtención de la proyección en su completitud, puesto que si bien los números de demanda energética no son excesivamente alejados de la realidad o irrazonables, si hay una no concordancia dentro de lo que se pensaba que debería dar y lógicamente se tendría que tener, donde las demandas de refrigeración son el punto en específico que generan mayor inquietud, debido a que no siguen ninguna lógica de lo planteado. Esto puede deberse a un simple signo dentro de la fórmula que debería ser cambiado, o hasta un replanteamiento de algún sector de cálculo para las demandas de consumo energético.

Habiendo ya discutido el punto más importante de los resultados, también se tiene que mencionar que para la proyección desde mitad de siglo en adelante hay una tendencia clara a datos de valores mucho más similares en años consecutivos, lo cual es lo que se esperaba.

Sin embargo, en las primeras décadas se notan datos más bien turbulentos y bastante cambiantes de un año al siguiente donde específicamente entre los años 2030 a 2040 aproximadamente los datos no tienen una tendencia clara en absoluto.

Tabla 5.14: Ejemplo donde se nota la anomalía en el caso específico de la región de Maule 2034-2038.

Región	Panorama	2034	2035	2036	2037	2038
Maule	optimista	149,4822	863,0417	129,65	162,8953	130,4082
	semi optimista	132,0169	139,1172	129,7728	131,2025	146,7752
	realista	143,1371	130,2668	128,7968	146,9032	135,1622
	semi pesimista	146,8916	131,517	224,0824	130,8915	138,9407
	pesimista	131,738	129,4583	131,4123	165,1622	166,4941

En esta tabla en específico se puede ver claramente cómo si bien los datos se mantienen

positivos y podrían ser consumos de climatización válidos con un buen planteamiento, aún así se nota una aleatoriedad que afecta en este rango de tiempo que hace que los datos no parezcan tener alguna tendencia. Incluso se puede notar que el mayor valor registrado de todos los resultados se encuentra en el 2035 en el caso optimista, este también coincidiría con la mayor demanda energética de refrigeración encontrada, con valor 46.218. Este valor es hasta 10 veces más de lo que es esperado para estos casos, la temperatura para esta región encontrada en ese año es de $12,11^{\circ}\text{C}$, lo cual es una diferencia notable con respecto al año anterior y siguiente respectivamente ($12,6$ y $12,61$), pero estas diferencias no son suficientes para explicar esta diferencia.

Si bien ese dato es una anomalía total y no hay otro caso similar, muestra una posible falla que puede haber en el planteamiento de las demandas energéticas y sobre todo del consumo de refrigeración.

La aleatoriedad si bien no es esperada ni bienvenida, puede deberse perfectamente a tener unos datos específicos del año 2019, puesto que en la primera tanda se usan los datos anteriores de ese año para la interpolación (que calza con el periodo de tiempo 2020-2040). Donde al mismo tiempo al mencionar esta última también puede deberse al hecho de usar interpolación en años consecutivos con años exactos en vez de una separación más amigable (9 a 10 años) para el cálculo por mes, además del hecho que las proyecciones tienen resultados con más errores los primeros años de predicciones. Aun así es un problema menor y que no es notorio para la proyección pasando el año 2050.

Antes de pasar a los resultados finales, se destaca para algún lector que quiera replicar el formulamiento de este trabajo, solamente lea la teoría y no aplique los pasos que se aplicaron en esta sección y se enfoque principalmente en la parte a continuación, donde los resultados están acorde a la teoría.

5.5. Resultados de programación final

Viendo los resultados anteriores, queda claro que se podrían realizar correcciones para mejorar las proyecciones de demandas de climatización, sobre todo para buscar la concordancia de los escenarios con los resultados obtenidos. La idea de corrección de estos resultados es bienvenida, puesto que siempre estuvo la idea de recorrer a modo ensayo y error a medida que se avanzara en la herramienta, siempre y cuando se tuviera progreso a través de mejores resultados u obtener una mayor claridad con la teoría o funciones de la herramienta.

La manera en la que se buscó perfeccionar la herramienta se realizó de la siguiente forma:

- Buscar errores de traspaso de fórmulas
- Revisar las funciones nuevamente para ver si realizan la labor requerida
- Revisar la teoría y si concuerda con las fórmulas utilizadas en la herramienta

Se estima que con este procedimiento se debería llegar a resoluciones apropiadas para obtener así resultados mejorados con respecto a lo que se tendría. También ahora utilizaremos

análisis de datos de demanda de calefacción y demanda de refrigeración por separado, y en caso de querer analizar un resultado finalizado, se vería la suma de ambas para una demanda de climatización final reflejada.

También se quiere destacar que no se mostrará cada resultado por cada uno de los ajustes que se irán ejecutando, puesto que no reflejan algo significativo mientras no haya una corrección absoluta. Por lo cual solamente se presentaran los resultados con todas las modificaciones hechas.

Del primer punto planteado, se encontraron errores de fórmulas, específicamente en la sección de ganancias solares, inicialmente se encontró un error en el que se aplicaba las ganancias solares de la región metropolitana a cada región, en vez de tener la correspondiente a cada otra región, lo cual se soluciona de manera inmediata. Sin embargo, se encontró también otro error donde al cambiar el método de cálculo de estas mismas ganancias, el 12 presente en la fórmula, la cual representa la constante de las horas de radiación solar encontradas por día pasó a ser obsoleta, por lo cual se decide quitar completamente de la fórmula en cuestión.

Código 5.1: Ejemplo de ganancias solares en Chile antes del cambio.

```
1 #Ganancias solares
2 GsChile = (Aof*Anof*1.17*SumaRadiacion_Chile*12/1000)
```

Código 5.2: Ejemplo de ganancias solares en Chile después del cambio.

```
1 #Ganancias solares
2 GsChile = (Aof*Anof*1.17*SumaRadiacion_Chile/1000)
```

Al mismo tiempo también se encontró otro error que fue el no traspaso del número 24 para ambas fórmulas de demanda de climatización, por lo cual se añadieron para los 2 consumos.

Del segundo punto, se percató la problemática que efectivamente no se habían adaptado a la fórmula la implementación de temperaturas base distintas para calefacción y refrigeración, estas siendo respectivamente 18°C y 20°C, donde para calefacción se consideran solamente en caso de ser menor o igual a 18°C y para refrigeración solo si es mayor o igual a 20°C, por lo cual para la implementación de estas se crearon nuevas funciones que calcularán los grados días para las listas que se tendrían a disposición, cambiando de manera drástica los resultados mostrados previamente.

Código 5.3: Listas agregadas mostradas brevemente.

```
1 def ajustar_lista2(lista, constante):
2     array = np.array(lista)
3     return array - constante
4
5 def Lista_Calefaccion(lista):
6     negativos = [numero for numero in lista if numero <= 0]
7     return negativos
8
```

```

9 def Lista_Refrigeracion(lista):
10     positivos = [numero for numero in lista if numero >= 0]
11     return positivos

```

La adaptación del código de las demandas energéticas finalizadas se mostrará de manera más completa en los anexos.

Para el último punto, se realiza un esquema para revisar si las fórmulas (sobre todo de la demanda incluyendo todas las ganancias y pérdidas) cumplen a cabo lo que sucede tanto para calefacción como refrigeración.

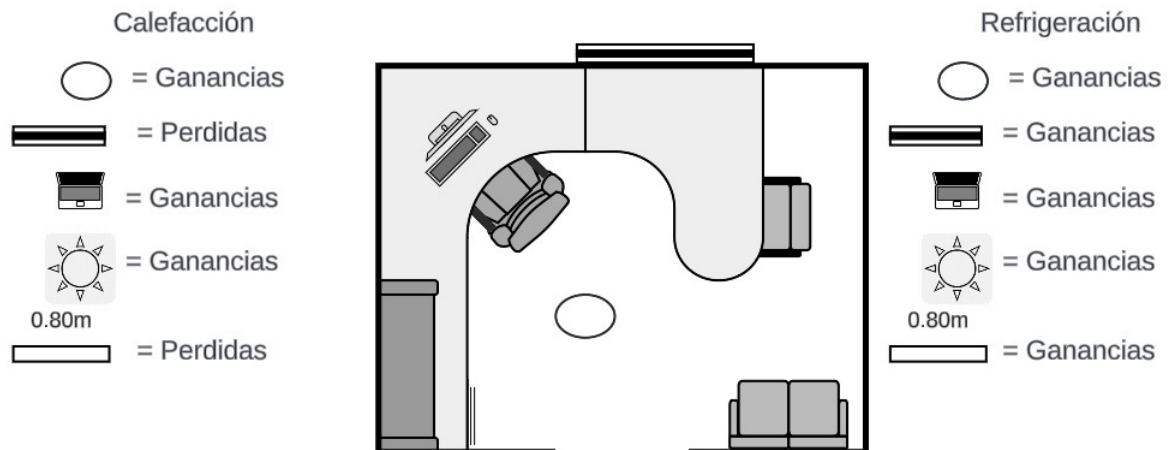


Figura 5.1: Esquema de ganancias y pérdidas térmicas para cada elemento o característica de la oficina.

Para aclarar, los elementos son de arriba a abajo personas en la oficina, ventanas, equipos, radiaciones solares y muros/techos/pisos de manera respectiva.

En el esquema separamos calefacción y refrigeración para distinguir qué puntos se sumarán o restarán, donde notamos que las ganancias ocupacionales (personas y equipos) junto con las radiaciones solares siempre se consideran como ganancias, mientras que el resto de los elementos de la oficina son ganancias para refrigeración pero se consideran pérdidas en el caso de calefacción (Esto se explica por las pérdidas que estas pueden generar al interactuar con el exterior).

Al comparar con las fórmulas que se mostraban previamente en la metodología, encontramos que calefacción respeta la teoría, pero que en refrigeración en la teoría deberían ir ambas en signo negativo (si bien se toma como valor absoluto para el análisis, se tenía que realizar la distinción).

Habiendo encontrado cada uno de estos errores, corrigiendolos y ajustando la herramienta, obtenemos nuevos resultados de calefacción y refrigeración, para mostrar un caso central, mostraremos datos para la Región Metropolitana en los primeros y últimos 5 años de proyección

Tabla 5.15: Refrigeración los primeros 5 años en la RM

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Metropolitana	optimista	-297,154	-55,9728	-76,86	-60,2639	-62,8673
	semi optimista	-56,841	-348,018	-58,3657	-56,5115	-56,5466
	realista	-56,2363	-60,0888	-851,92	-185,343	-56,0264
	semi pesimista	-55,9972	-65,9565	-56,2109	-66,8723	-56,056
	pesimista	-56,3893	-89,8544	-56,2139	-1120,84	-56,8827

Tabla 5.16: Refrigeración los últimos 5 años en la RM

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Metropolitana	optimista	-55,9786	-55,9797	-55,9785	-56,8182	-55,9788
	semi optimista	-57,1534	-56,909	-57,5531	-57,1622	-57,1861
	realista	-68,0033	-86,677	-107,919	-62,6871	-64,1115
	semi pesimista	-57,5975	-77,1255	-73,8296	-64,3423	-72,5363
	pesimista	-56,5742	-72,028	-91,7645	-126,755	-86,4306

Tabla 5.17: Calefacción los primeros 5 años en la RM

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Metropolitana	optimista	-51,4601	157,4177	20,46989	99,09148	73,17872
	semi optimista	642,6365	-49,7268	120,8459	459,8116	140,5588
	realista	307,467	102,3785	-57,1581	-35,8816	188,1919
	semi pesimista	171,2933	49,31169	140,5899	43,40666	207,4772
	pesimista	394,4009	6,480646	296,488	-57,6487	666,7127

Tabla 5.18: Calefacción los últimos 5 años en la RM

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Metropolitana	optimista	159,7355	162,2824	160,2153	158,071	160,6381
	semi optimista	150,8853	149,619	152,9572	150,9311	151,0551
	realista	116,5573	90,18975	64,6855	130,648	126,3892
	semi pesimista	140,5616	89,26455	94,81588	117,9401	96,99425
	pesimista	497,2538	97,13377	69,34054	34,1199	76,23862

5.6. Discusión final

Los resultados mostrados anteriormente son los finales para la Región Metropolitana, donde hay varios puntos que se pueden notar:

- Las demandas de refrigeración son todas negativas, esto es debido a la formulación dicha anteriormente del ajuste a que tanto las pérdidas como las ganancias sean negativas, por lo cual se toma a consideración la magnitud del número para su análisis respectivo

- Las demandas de refrigeración son mayores en magnitud a medida que empeoran los escenarios como tendencia general
- La demanda de calefacción disminuye en valor a medida que empeora el escenario como tendencia general
- Si hay resultados negativos en la demanda de calefacción, el valor se puede considerar como valor igual a 0, puesto que esto simplemente significa que no hay necesidad de calefaccionar el lugar (por lo cual se podría reflejar en demandas negativas para zonas o escenarios de mayor calor)
- La turbulencia o aleatoriedad presentada en los primeros años es aún más notoria que para las primeras pruebas, esto es debido al 24 agregado que faltaba en ambas fórmulas de demandas de climatización por, por lo cual cada diferencia entre resultados es mucho más acentuado. Aún así, al igual que en los primeros resultados, desaparece casi por completo después de los primeros 15 - 20 años
- Esta aleatoriedad es incluso más evidente en las demandas de calefacción que en las demandas de refrigeración, al mismo tiempo al momento de estabilizarse también es mucho más marcado por el mismo motivo
- Vinculando el punto anterior, también hay un punto para notar que es que las demandas de refrigeración tienden a ser muy estables y con mucha menor diferencia tanto entre años como entre distintos escenarios, esto se debe a que hay muy pocos "días" que las temperaturas reflejadas promediadas sean mayores a 20°C, por lo cual cuando no hay mayor aumento, puede notarse casi la misma demanda de climatización que cuando hay mayores temperaturas.

Ahora que las fórmulas y la herramientas están actualizadas, debería darse la lógica que zonas y escenarios de mayor calor debería haber más demanda de refrigeración y menor demanda de refrigeración (en magnitud), para corroborar mostraremos dos zonas de extremos opuestos, como lo son Arica y Magallanes.

Tabla 5.19: Refrigeración los primeros 5 años en la Región de Arica

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Arica	optimista	-71,2298	-60,3942	-110,56	-221,915	-60,373
	semi optimista	-244,495	-60,5497	-60,5234	-84,6884	-60,6113
	realista	-60,7077	-302,943	-60,4595	-60,3658	-136,626
	semi pesimista	-236,725	-64,2569	-60,3915	-194,101	-149,826
	pesimista	-60,3562	-85,0777	-60,4898	-138,74	-60,3587

Tabla 5.20: Refrigeración los últimos 5 años en la Región de Arica

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Arica	optimista	-60,3685	-60,3862	-60,3788	-60,3852	-60,3832
	semi optimista	-60,3297	-60,3493	-60,3415	-60,341	-60,3487
	realista	-60,3287	-60,3307	-60,3288	-60,3284	-60,3303
	semi pesimista	-60,3348	-65,3348	-60,3273	-60,3245	-66,915
	pesimista	-67,7193	-107,08	-60,3977	-137,221	-102,443

Tabla 5.21: Calefacción los primeros 5 años en la Región de Arica

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Arica	optimista	-1,54882	65,88886	-26,7641	-52,5405	19,86346
	semi optimista	-53,1864	211,4225	186,7414	-14,2388	269,0117
	realista	359,1642	-56,8908	127,0338	10,6361	-33,8901
	semi pesimista	-50,7632	-1,44427	63,37639	-44,8529	-37,1921
	pesimista	19,81078	-15,2937	155,3596	-33,7373	12,50557

Tabla 5.22: Calefacción los últimos 5 años en la Región de Arica

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Arica	optimista	41,74937	56,12753	50,21572	55,38871	53,74793
	semi optimista	-2,04342	14,89468	8,507426	8,114365	14,40336
	realista	-23,326	-34,9011	-22,7555	-26,0102	-33,1415
	semi pesimista	-42,2118	-55,2161	-15,6507	-23,9	-56,7211
	pesimista	-57,8492	-60,4417	-43,2022	-60,4865	-60,4348

Tabla 5.23: Refrigeración los primeros 5 años en la Región de Magallanes

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Magallanes	optimista	-47,2117	-47,2746	-47,2416	-47,232	-47,2132
	semi optimista	-47,2164	-47,1932	-47,2442	-47,2446	-47,2265
	realista	-47,2355	-47,2183	-47,255	-47,2282	-47,2257
	semi pesimista	-47,216	-112,033	-47,2259	-47,2203	-112,033
	pesimista	-47,2233	-47,2199	-47,2313	-47,2214	-47,2181

Tabla 5.24: Refrigeración los últimos 5 años en la Región de Magallanes

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Magallanes	optimista	-47,2347	-47,232	-47,2328	-47,2392	-47,2347
	semi optimista	-47,2102	-47,2091	-47,2086	-47,2114	-47,2081
	realista	-47,174	-47,1697	-47,174	-47,1793	-47,1654
	semi pesimista	-47,3557	-47,1145	-47,1667	-47,1336	-47,1201
	pesimista	-47,112	-47,0746	-47,1129	-47,1257	-47,0831

Tabla 5.25: Calefacción los primeros 5 años en la Región de Magallanes

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Magallanes	optimista	223,9658	243,8589	233,4225	230,3767	224,4176
	semi optimista	225,4434	218,112	234,2299	234,3725	228,6304
	realista	231,4819	226,0325	237,6633	229,1638	228,3912
	semi pesimista	225,3004	259,8403	228,4412	226,6909	259,8403
	pesimista	227,6126	226,5616	230,1559	227,0345	225,9941

Tabla 5.26: Calefacción los últimos 5 años en la Región de Magallanes

Región	Panorama	2024	2025	2026	2027	2028
Magallanes	optimista	231,2504	230,3893	230,6493	232,665	231,2504
	semi optimista	223,4813	223,1168	222,971	223,8459	222,8251
	realista	212,0095	210,6496	212,0095	213,7094	209,2897
	semi pesimista	269,5377	193,1768	209,7142	199,2391	194,9526
	pesimista	192,3976	180,5477	192,6837	196,729	183,2446

Con estos resultados corroboramos la lógica correspondida y al mismo tiempo se corrobora cada punto mencionado previamente.

La demanda de climatización total (magnitudes de ambas demandas sumadas) de esta manera dependería mucho de la región dada, puesto que las demandas negativas de calefacción (que se reflejarán como valor 0) mostrarían un cambio en los resultados, por lo cual no hay un indicador preciso de cómo podrían terminar, lo único que podría marcar una tendencia es el hecho que claramente la calefacción tendría un mayor peso para este valor, tanto por la aleatoriedad mayor, como los mayores números y diferencia para cada caso, igualmente se calcularon y se mostrará el valor de demanda de climatización general para los últimos años de la Región Metropolitana para tener un indicativo de rangos que podrían obtenerse.

Región	Panorama	2096	2097	2098	2099	2100
Metropolitana	optimista	215,7140	218,2621	216,1938	214,8892	216,6169
	semi optimista	208,0387	206,5280	210,5103	208,0933	208,2412
	realista	184,5606	176,8668	172,6042	193,3350	190,5007
	semi pesimista	198,1591	166,3900	168,6455	182,2824	169,5306
	pesimista	553,8280	169,1618	161,1050	160,8753	162,6692

Los rangos terminan siendo muy variados, donde van desde los 550 - 160 Kwh/m² por año para este caso particular, donde claramente se ve disminución de la demanda con los escenarios más pesimistas, debido al mismo peso de la demanda de calefacción que se mencionaba anteriormente, pero al mismo tiempo este no será el caso para todos los casos y regiones, en regiones más calurosas habría tendencia más dividida donde el escenario realista podría llegar a ser el menor de los 5, o en zonas de mayor frío la disminución sea incluso más marcada.

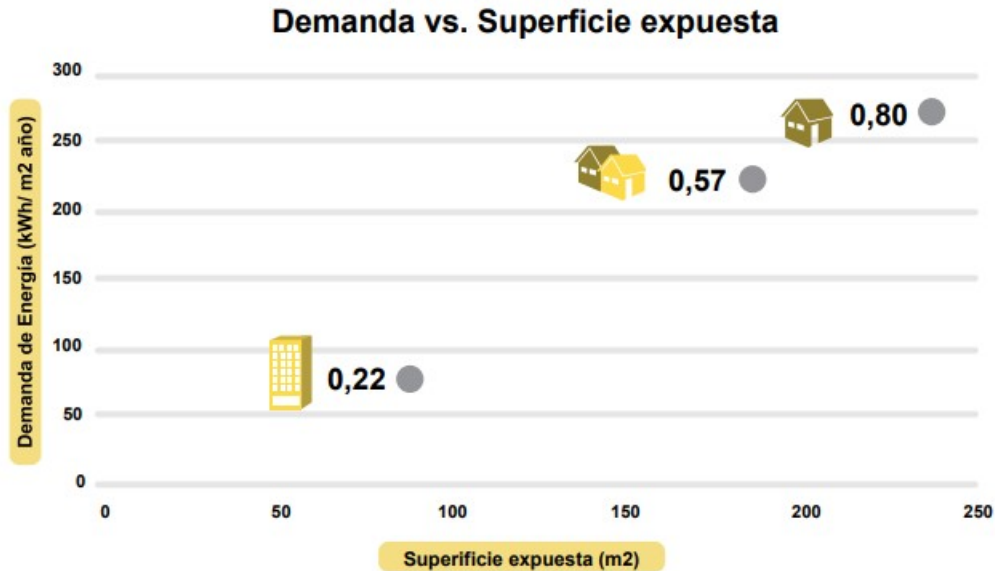


Figura 5.2: Gráfico de comparación de demandas de calefacción con superficies expuestas, donde nuestro caso sería un punto medio entre departamento y vivienda.

Al mismo tiempo, el cambio de las ganancias solares también afectó de manera muy importante los resultados finales, este método provoca un aumento de aleatoriedad al tratarse de números mayores, pero al mismo tiempo son datos exactos, por lo cual se acerca a un resultado más acercado al buscado (sin considerar que son constantes y no hay una forma de predecir si este será el caso a futuro).

Para finalizar, hace falta mencionar que la misma aleatoriedad de manera general por nuestra problemática que se comporta de manera no lineal y teniendo en cuenta todos los factores posibles es inevitable que ocurra, por lo cual el margen de error de las primeras pruebas está presente actualmente y podría ser incluso mayor al planteado, sobre todo considerando que este no es el cálculo de consumo energético, sino el de demanda de climatización, por lo cual es mayor error al 22 % planteado el las primeras ocasiones, cuanto es el error de

manera real is incalculable, puesto que hay muchas variables impredecibles e incalculables con el tiempo, por lo cual solo el futuro próximo tendría esta respuesta, sin embargo, los resultados siguen sin estar tan alejado de lo que posiblemente podrían llegar a dar.

Capítulo 6

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos anteriormente de consumo energético (medidos en kWh/m² al año) y actuales se podrían sacar conclusiones finalizadas de este trabajo, la primera a notar era que nunca se obtendrán resultados exactos al promedio de demanda de climatización energética, esto puesto que no hay datos suficientes necesarios para llegar a un resultado 100% preciso, por lo cual todos nuestros cálculos se toman como proyecciones aproximadas en base a muchos datos con estimaciones que se consideren apropiadas.

Al mismo tiempo, si bien la herramienta ya es funcional y entrega resultados para todos los escenarios y de manera optimizada, estos tienen una aleatoriedad grande debido a la formulación utilizada y la interpolación simple para calcular las temperaturas de manera promediada. Sin embargo, ahora los resultados finales tienen una concordancia con respecto a lo que se esperaba de estos.

También se destaca que la demanda de climatización de calefacción tiene un peso mayor a la demanda de refrigeración y se refleja esto en los resultados finales para la mayoría de los casos, donde la variación se podría ver simplemente en la región de la elección de la oficina a analizar.

Al mismo tiempo el factor de meta energética no está implementada en la herramienta final, esto se explica previamente, pero no se utiliza para los resultados finales porque no tienen suficientes fundamentos para ser aplicado para el análisis de resultados, sin embargo, se puede utilizar igualmente en la herramienta final.

Los objetivos fueron cumplidos de la mejor manera que se podría haber trabajado, donde se creó la herramienta de proyección de demandas de climatización tanto de refrigeración como de calefacción para todas las regiones de Chile hasta el año 2100, donde se estudiaron y analizaron los datos relevantes al cambio climático a nivel internacional y nacional, se analizaron las demandas energéticas de Chile, se realizó una aplicación de las fórmulas apropiadas para la creación de la herramienta por lo cual se programó de manera apropiada y se corrigieron los puntos de mayor importancia para tener resultados más optimizados finales.

Se obtuvieron un total de 11.550 temperaturas proyectadas para demanda de calefacción y refrigeración en total, si sumamos además la demanda de climatización de estas dos sumadas para un resultado final, se consideran 17.325 datos individuales. En ganancias solares

igualmente se reunieron datos para cada día en cada región, por lo cual se reúnen en sí 5.475 datos de radiaciones solares en total. Tomando a consideración cada dato reunido y calculado se tienen a consideración más de 25.000 datos en total.

Para finalizar, este trabajo constó de un proceso muy interesante con amplios puntos de mejora y de un potencial de uso de características inmensas, igualmente se podría buscar perfeccionar el modelo lo máximo posible con nuevos factores de corrección y tomando variables faltantes en las fórmulas, teniendo métodos con menos errores y más infalibles y obtener un análisis incluso más profundo con el fin de aprovechar la instancia de este estudio que conlleva a un aumento de conocimiento sobre un tema importantísimo como lo es el cambio climático y cómo afectaría esto al futuro del país e internacional.

Bibliografía

1. Center for Climate and Resilience Research. (2020). El aire que respiramos: pasado, presente y futuro Pág.14.
https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/09/Informe_Contaminacion_Espanol_2020.pdf
2. Palma, A. (2019). Chile frente al cambio climático, Pág. 8.
<https://lyd.org/wp-content/uploads/2019/12/serie-informe-economica-280-octubre.pdf>
3. The Economist. (21/09/2019). Global Temperature Change.
www.carbonbrief.org
4. Naciones Unidas. (2015). El Acuerdo de París.
<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
5. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. (2022). Ley Marco del Cambio Climático.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>
6. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2022). Plan Nacional de Eficiencia Energética, Pág. 4.
https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_nacional_de_eficiencia_energetica_2022-2026.pdf
7. García N. (Octubre 2021). Carbono neutralidad en el sector energético de Chile, Pág. 3.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32578/1/BCN_Carbononeutralidad_en_el_sector_energetico_Chile_15Oct._Rev._RT01_edPM.pdf
8. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2022). Plan Nacional de Eficiencia Energética, Págs 38-60
https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_nacional_de_eficiencia_energetica_2022-2026.pdf
9. García N. (Octubre 2021). Carbono neutralidad en el sector energético de Chile, Págs. 4-5.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32578/1/BCN_Carbononeutralidad_en_el_sector_energetico_Chile_15Oct._Rev._RT01_edPM.pdf
10. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2021). Ministerio de Energía anuncia histórico cierre adelantado de centrales a carbón.
<https://energia.gob.cl/noticias/los-lagos/ministerio-de-energia-anuncia-historico-cierre-adelantado-de-centrales-carbon#:~:text=Hoy%20ese%20plan%20es%20mucho,de%20las%20centrales%20a%20carb%20n.>
11. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2019). Acuerdo de Retiro de Carbón.
https://energia.gob.cl/sites/default/files/plan_de_retiro_y_o_reconversion_centrales_carbon.pdf

12. Gonzales A. Jacques-Coper M. Bravo C. Rojas M. Garreaud R. (2023). Evolution of heatwaves in Chile since 1980.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094723000415>
13. World Climate Research Programme (14/10/2022) WCRP Coupled Model Intercomparison Project (CMIP).
<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>
14. Sexto informe de IPCC. (2022).
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
15. Data Catalog(2023) Climate Change Knowledge Portal(CCKP).
<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data>
16. Cálculo de cargas térmicas de climatización(2020) Ingenieros Industriales ©
<https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-cargas-termicas-de-climatizacion/>
17. Manual Acondicionamiento Térmico, Criterios De Intervención(2015) Cámara Chilena de la Construcción.
https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Manual_WEB.PDF
18. Stefan P. Iain S. (14/10/2022) Renewables Ninja.
<https://renewables.ninja>
19. Gestiona Energía(2022) Ministerio de Energía.
<https://sectorpublico.gestionaenergia.cl>
20. Explorador solar del ministerio de energía (2024).
<https://solar.minenergia.cl/inicio>
21. Recolección de datos en Weather Spark (2024).
<https://es.weatherspark.com>
22. Análisis de casos climatológicos de DKRZ (2021) .
<https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios>

Anexos

Anexo A. Códigos

Código A.1: Código inicial

```
1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3
4 #Datos
5
6 #Altura oficina
7 Aof = 2.5
8 #Largo oficina
9 Lof = 10
10 #Ancho oficina
11 Anof = 6
12 #Superficie (largo*ancho)
13 Sof = Lof*Anof
14 #Volumen
15 Vof = Aof*Lof*Anof
16 #Temperatura base
17 Tb = 18
18 #Datos ventilación
19 Sv = 0.01
20 Velv = 3600
21 #Superficies elementos oficina
22 Sw = 12
23 Sm = 25
24 Sp = 2.5
25 #Días de cada mes
26 De = 31
27 Df = 28
28 Dmr = 31
29 Da = 30
30 Dmy = 31
31 Dj = 30
32 Djl = 31
33 Dag = 31
34 Ds = 30
35 Do = 31
36 Dn = 30
37 Dd = 31
```

```
38 Meses = [0, 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31]
```

Código A.2: Constantes iniciales

```
1 #Transmitancias térmicas de ventanas
2 Uvm = 3.6
3 Uvp = 3
4
5 #factor meta energética
6 f15 = 0.15
7 f30 = 0.30
```

Código A.3: Códigos utilizados para inputs de testeo individual.

```
1 def obtener_año():
2     while True:
3         try:
4             año = int(input("¿Para qué año quieres ver la predicción? (2024-2100): "))
5             if 2024 <= año <= 2100:
6                 return año
7             else:
8                 print("Por favor ingresa un año válido entre 2024 y 2100.")
9         except ValueError:
10            print("Por favor ingresa un año válido.")
11
12 def obtener_region():
13     while True:
14         region = input("¿En qué región se encuentra la oficina? (Ej. Metropolitana, Atacama,
15 ↪ Antofagasta, etc.): ").strip().lower()
16         regiones_validas = ["metropolitana", "arica", "atacama", "antofagasta", "aysén", "
17 ↪ araucania", "biobio", "coquimbo", "magallanes", "maule", "los Lagos", "tarapaca", "los
18 ↪ Rios", "ohiggins", "valparaiso", "chile"]
19         if region in regiones_validas:
20             return region
21         else:
22             print("Por favor ingresa una región válida.")
23
24 def obtener_panorama():
25     while True:
26         panorama = input("¿Cómo ves el panorama de cambio climático a futuro? (Optimista,
27 ↪ Semi optimista, Realista, Semi pesimista, Pesimista): ").strip().lower()
28         panoramas_validos = ["optimista", "semi optimista", "realista", "semi pesimista", "
29 ↪ pesimista"]
30         if panorama in panoramas_validos:
31             return panorama
32         else:
33             print("Por favor ingresa una respuesta válida.")
```

Código A.4: Recolección de datos necesarios para una futura interpolación

```

1 def obtener_datos_anuales(diccionario, año, región, escenario):
2     # Determinar las claves para el año actual, anterior y siguiente
3     clave_actual = (año, región, escenario)
4
5     # Asegurar que las claves existen en el diccionario para el año anterior y siguiente
6     # Si no, usar el año actual
7     if (año - 1, región, escenario) in diccionario:
8         clave_anterior = (año - 1, región, escenario)
9     else:
10        clave_anterior = clave_actual
11
12    if (año + 1, región, escenario) in diccionario:
13        clave_siguiente = (año + 1, región, escenario)
14    else:
15        clave_siguiente = clave_actual
16
17    # Calcular índice dentro de la lista basado en el año
18    índice = año - 2015 # Ajustar este valor si el año base es diferente
19
20    # Obtener los valores del año, año anterior y año siguiente
21    valor_anterior = diccionario[clave_anterior][índice - 1] if índice > 0 else diccionario[
22        ↪ clave_actual][índice]
23    valor_actual = diccionario[clave_actual][índice]
24    valor_siguiente = diccionario[clave_siguiente][índice + 1] if índice + 1 < len(diccionario[
25        ↪ clave_actual]) else diccionario[clave_actual][índice]
26
27    return valor_anterior, valor_actual, valor_siguiente
28
29 #funcion para datos mensuales, hay que tener una manera de obtener tnda anterior al 2020
30 ↪ para cada región
31 def obtener_datos_mensuales(diccionario, año, región, escenario):
32     # Asumimos que los datos de cada año comienzan desde 2020 y van de 20 en 20 años
33     # Averiguar el inicio de la tanda actual
34     tanda_actual = (año - 2024) // 20 * 20 + 2024
35     clave_actual = (tanda_actual, región, escenario)
36
37     # Determinar la tanda anterior (20 años antes), a menos que sea la primera tanda
38     if tanda_actual > 2024:
39         tanda_anterior = tanda_actual - 20
40         clave_anterior = (tanda_anterior, región, escenario)
41         datos_anteriores = diccionario.get(clave_anterior, [0] * 12) # Lista por defecto si no
42         ↪ hay datos
43     else:
44         # Datos predeterminados para el año 2019 si estamos en la primera tanda (2020)
45         datos_anteriores = [0, 20.18, 23.61, 18.73, 18.63, 17.65, 11.03, 11.59, 14.91, 12.71, 12.9,
46         ↪ 20.3, 19.39]
47
48     # Asegurarse de que la clave actual existe en el diccionario
49     datos_actuales = diccionario.get(clave_actual, [0] * 12) # Lista por defecto si no hay
50     ↪ datos

```

```
46 return datos_anteriores, datos_actuales
```

Código A.5: Radiaciones y sus sumas utilizadas en la fórmula de ganancias solares.

```
1 def interpolacion_lineal_constante_x(datos_anuales, datos_mensuales):
2     x0 = datos_anuales[0]
3     x = datos_anuales[1]
4     x1 = datos_anuales[2]
5     y0_list = datos_mensuales[0]
6     y1_list = datos_mensuales[1]
7     resultados_interpolados = []
8     num_meses = len(y0_list) # Asumiendo que y0_list y y1_list tienen la misma longitud
9     for i in range(num_meses):
10        y0 = y0_list[i]
11        y1 = y1_list[i]
12        # Fórmula de interpolación lineal usando x constante
13        if x0 == x1:
14            y = (y0 + y1)/2
15        else:
16            y = y0 + ((y1 - y0) / (x1 - x0)) * (x - x0)
17
18        resultados_interpolados.append(y)
19    return resultados_interpolados
```

Código A.6: Formulas adicionales utilizadas en la creación de la herramienta en su totalidad.

```
1 def multiplicar_listas(lista1, lista2):
2     if len(lista1) != len(lista2):
3         raise ValueError("Las listas deben tener la misma longitud.")
4
5     resultado = []
6     for a, b in zip(lista1, lista2):
7         resultado.append(a * b)
8     return resultado
9
10 def seleccionar_dato(lista_datos, año):
11     índice = año - 2015
12     return lista_datos[índice]
13
14 def ajustar_lista(lista, constante):
15     array = np.array(lista)
16     return constante - array
17
18 def pos_o_neg(lista):
19     positivos = [numero for numero in lista if numero >= 0]
20     negativos = [numero for numero in lista if numero < 0]
21     return positivos, negativos
```


Código A.7: Función de predicción, utilizando todo lo programado previamente para su creación.

```

1 def hacer_prediccion():
2     año = obtener_año()
3     region = obtener_region()
4     panorama = obtener_panorama()
5     datos_anuales = obtener_datos_anuales(Diccionario_1,año,region,panorama)
6     datos_mensuales = obtener_datos_mensuales(Diccionario_2,año,region,panorama)
7     interpolacion = interpolacion_lineal_constante_x(datos_anuales,datos_mensuales)
8     lista_grados = ajustar_lista(interpolacion,18)
9     Grados_dias = multiplicar_listas(lista_grados,Meses)
10    prueba = pos_o_neg(Grados_dias)
11    Grados_dias_ventilacion = sum(prueba[0])
12    Grados_dias calefaccion = sum(prueba[1])
13    #Cargas de ventilacion en Watts
14    ventilacion = abs(ajustar_lista(interpolacion,18))
15    Cargas_ventilacion = Sv*Velv*0.34*sum(multiplicar_listas(abs(ajustar_lista(
    ↪ interpolacion,18)),Meses))
16    Ganancias_internas = ((Cargas_ventilacion*10)+(131*5*8*365))/1000
17    Gv2 = (((Ut3*Sof) + (Um3*Sm*2) + (Um3*Aof*Anof*2) + (Up3*Sp) + (Uvm*Sw) + (
    ↪ Kip3*Sp))/Vof)+0.35
18    Demanda_energia_ventilacion = -(Gv2*Vof*24(abs((Grados_dias_ventilacion)/1000)))-
    ↪ Ganancias_internas + GsMetropolitana)
19    Demanda_energia_calefaccion = (Gv2*Vof*24(abs(Grados_dias_calefaccion)/1000))-
    ↪ Ganancias_internas + GsMetropolitana)
20    demanda_energia_total = abs(Demanda_energia_calefaccion)+abs(
    ↪ Demanda_energia_ventilacion)
21    Demanda_energia_m2 = demanda_energia_total/Sof
22    return Demanda_energia_m2

```

Código A.8: Diccionario final utilizado para ordenar organazidamanete cada lista y dato para una futura creación de traspaso a excel de resultados.

```

1 temperaturas = {'Chile': {'años_exactos': {'optimista': Chile_ssp119,
2                                     'semi optimista': Chile_ssp1226,
3                                     'realista': Chile_ssp245,
4                                     'semi pesimista': Chile_ssp370,
5                                     'pesimista': Chile_ssp585,
6                                     '2020-2039': {'optimista': aChile_meses_119,
7                                               'semi optimista': aChile_meses126,
8                                               'realista': aChile_meses245
9                                               'semi pesimista': aChile_meses370,
10                                              'pesimista': aChile_meses585},
11                                     '2040-2059': {'optimista': bChile_meses_119,
12                                               'semi optimista': bChile_meses126,
13                                               'realista': bChile_meses245
14                                               'semi pesimista': bChile_meses370,
15                                               'pesimista': bChile_meses585},
16                                     '2060-2079': {'optimista': cChile_meses_119,
17                                               'semi optimista': cChile_meses126,
18                                               'realista': cChile_meses245

```

```

19         'semi pesimista': cChile_meses370,
20         'pesimista': cChile_meses585},
21     '2080-2100': {'optimista': dChile_meses_119,
22                 'semi optimista': dChile_meses126,
23                 'realista': dChile_meses245
24                 'semi pesimista': dChile_meses370,
25                 'pesimista': dChile_meses585}
26     'anteriores': [0, 22, 21, 19, 15, 12, 9, 9, 10, 12, 15, 18, 21],
27     'Ut': 0.47,
28     'Um': 1.9,
29     'Kip': 0.7,
30     'Up': 1.2}

```

Código A.9: funciones de obtención de datos adaptadas al diccionario personalizado.

```

1
2 def obtener_datos_anuales(año, region, escenario):
3     # Los años de los datos van entre 2015 y 2100
4     # El parámetro año debe ser entre 2016 y 2099 para que se muestren los 3 valores
5     indice = año - 2015
6     if 2016 <= año <= 2099:
7         valor_anterior = temperaturas[region]['años_exactos'][escenario][indice-1]
8         valor_actual = temperaturas[region]['años_exactos'][escenario][indice]
9         valor_siguiete = temperaturas[region]['años_exactos'][escenario][indice+1]
10    elif año == 2100:
11        valor_anterior = temperaturas[region]['años_exactos'][escenario][indice-1]
12        valor_actual = temperaturas[region]['años_exactos'][escenario][indice]
13        valor_siguiete = valor_actual
14    return valor_anterior, valor_actual, valor_siguiete
15
16 def obtener_datos_mensuales(año, region, escenario):
17     # Los años de los datos van entre 2020 y 2100
18
19     if 2020 <= año <= 2039:
20         tanda_actual = '2020-2039'
21         datos_anteriores = temperaturas[region]['anteriores']
22
23     else:
24         if 2040 <= año <= 2059:
25             tanda_actual = '2040-2059'
26             tanda_anterior = '2020-2039'
27         elif 2060 <= año <= 2079:
28             tanda_actual = '2060-2079'
29             tanda_anterior = '2040-2059'
30         elif 2080 <= año <= 2100:
31             tanda_actual = '2080-2100'
32             tanda_anterior = '2060-2079'
33
34         datos_anteriores = temperaturas[region][tanda_anterior][escenario]
35     datos_actuales = temperaturas[region][tanda_actual][escenario]

```

```

36 return datos_anteriores, datos_actuales
37

```

Código A.10: función creada de gv2 dependiente de la región correspondiente.

```

1 def gv2(region):
2     Ut = temperaturas[region]['Ut']
3     Um = temperaturas[region]['Um']
4     Kip = temperaturas[region]['Kip']
5     Up = temperaturas[region]['Up']
6     return (((Ut*Sof) + (Um*Sm*2) + (Um*Aof*Anof*2) + (Up*Sp) + (Uvm*Sw) + (Kip*
    ↪ Sp))/Vof)+0.35

```

Código A.11: función para traspaso al programa excel para análisis de datos.

```

1 def crear_excel():
2     año_inicial = 2024
3     año_final = 2100
4     años = list(range(año_inicial, año_final+1))
5     regiones = ["Metropolitana", "Arica", "Atacama", "Antofagasta", "Aysén", "Araucania", "
    ↪ BioBio", "Coquimbo", "Magallanes", "Maule", "Lagos", "Tarapaca", "Rios", "Ohiggins"
    ↪ , "Valparaiso"]
6     panoramas = ["optimista", "semi optimista", "realista", "semi pesimista", "pesimista"]
7     datos = []
8
9
10
11     indices = pd.MultiIndex.from__product__([regiones, panoramas], names=["Región", "
    ↪ Panorama"])
12
13     for region in regiones:
14         for panorama in panoramas:
15             fila = []
16             for año in años:
17                 valor = hacer_prediccion(año, region, panorama)
18                 fila.append(valor)
19                 datos.append(fila)
20
21     df = pd.DataFrame(datos, index=indices, columns=años)
22
23     df.to_excel('predicciones.xlsx')

```

Anexo B. Tablas de datos

Tabla B.1: Datos faltantes 2020-2022 de Consumo energético del Ministerio de energía.

		2020	2021	2022
Cantidad de edificios registrados	n°	3041	3218	3618
Solo Electricidad	n°	2859	3019	3408
Mixtos (Electricidad y GN)	n°	182	199	210
Superficie total registrada	m ²	9975418	10691126	12086447
Solo Electricidad	m ²	2159643	2733956	4113028
Mixtos (Electricidad y GN)	m ²	7815775	7957170	7973419
Consumo Electricidad	kWh/año	107116592	153786128	189673145
Consumo Gas Natural	kWh/año	36082146	52344820	56644227
Consumo Electricidad y Gas Natural	kWh/año	143198738	206130948	246317372
Emisiones Totales	ton CO ₂ /año	48102	70957	69918
Gasto Total	MM\$/año	20221	24342	29651

Tabla B.2: Tabla de ejemplo de cálculo para Santiago el año 2017.

Datos interpolados ejemplo 2017	21,1	22,3	19,1	17,3	15,0	10,5	10,4
Dias por mes	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Carga ventilación (W)	1183,9	7628,9	7258,7	6341,5	5684,0	3855,6	3938,9
Grados día	-96,7	-119,3	-35,0	21,9	93,6	225,0	236,2
Grados días refrigeración	-349,4						
Grados días calefacción	1020,9						

Tabla B.3: Tabla de ejemplo de cálculo para Santiago el año 2018.

Datos interpolados ejemplo 2018	21,13	22,26	19,13	17,27	14,98	10,5
Dias por mes	31	28	31	30	31	30
Carga ventilación (W)	1187,65	7628,95	7258,69	6341,54	5684,01	3855,60
Grados día	-97,03	-119,28	-35,03	21,9	93,62	225
Grados días refrigeración	-349,74					
Grados días calefacción	1017,87					