

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE CALOR EN CHILE



1. Contexto

El presente trabajo es parte del proyecto “Desarrollo de Herramientas para el Fomento del Mercado de Venta de Energía Térmica a través de Redes Distritales en Energía”, el cual se realizó en el marco del Programa de Bienes Públicos Estratégicos para la Competitividad de CORFO. El proyecto tiene como fin el promover proyectos de energía distrital en Chile a través de distintas herramientas generadas, especialmente para enfrentar los importantes problemas de contaminación presentes en diferentes ciudades de Chile debido a la generación de calor para calefacción por parte del área residencial.

El proyecto se realizó mediante el financiamiento de CORFO y colaboración técnica del Ministerio de Energía, además del apoyo del Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Agencia de Sostenibilidad Energética y la Asociación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ).

2. Definición de Mapa de Calor

Los mapas de calor son mapas en los que se muestra la demanda de energía térmica en una determinada zona o ciudad, y pueden incluir demanda por calor o refrigeración. En el caso de calor, los mapas incluyen la demanda energética por calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), y en algunos casos puede incluir demanda de energía térmica por procesos industriales u otros.

Estos mapas pueden incluir también la oferta de energía térmica proveniente de distintas fuentes, tales como procesos industriales, plantas Waste to Energy, entre otras, además de incluir las posibles fuentes de energía, tales como biomasa, energía solar o geotermia.

Pueden tener distintos niveles de detalles, desde estimaciones realizadas mediante el uso de bases de datos recopiladas, hasta datos reales de demanda energética.

Estos mapas pueden servir como insumo para clasificar e identificar las zonas con alta densidad de demanda energética, y, por lo tanto, zonas potenciales para el suministro de calor mediante una red de energía distrital.

3. Alcances del Mapa de Calor

La metodología generada para los mapas de calor se realizó en base a estimaciones de demanda energética para calefacción y ACS a partir de datos de materialidad, superficie, año de construcción y tipo de uso de las distintas edificaciones. Se consideran los siguientes tipos de edificaciones: habitacional, educacional, salud, hotel/motel, oficinas, comercial.

Dentro de la metodología, se incorpora un proceso de geocodificación de los datos mediante el cual se obtiene un punto georreferenciado para cada edificación a partir de la dirección de estas mismas. Este proceso no permite obtener la totalidad de los puntos georreferenciados debido a la calidad de la información de base, por lo que no se muestra en los mapas de calor la totalidad de las edificaciones presentes en una determinada área. Por otra parte, el punto georreferenciado de las edificaciones puede estar desplazado en un par de metros y no coincidir en el punto real exacto de las edificaciones.

Junto a la metodología se generaron mapas de calor para 11 ciudades de Chile: Rancagua, Talca, Chillán, Concepción, Temuco, Valdivia, Osorno, Puerto Montt, Coyhaique, Punta Arenas y Puerto Williams, en los cuales se indica, además de la demanda energética, la oferta de energía térmica en las distintas zonas analizadas.

4. Metodología general

El presente documento explica la metodología a seguir para generar un mapa de calor para un territorio determinado, generalmente una comuna o una zona urbana. Este mapa indica la demanda de energía térmica asociada a calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificaciones de uso habitacional, de salud, hotel/motel, educacional y cultura, oficina y administración pública presentes en la zona. La demanda obtenida para las edificaciones se agrupa en áreas de 100x100 m², con la finalidad de mostrar el lugar donde se encuentran las zonas con mayores densidades de demanda de energía térmica.

Los datos utilizados para generar el mapa son datos de dominio público sobre las edificaciones construidas en cada comuna, de manera que el procedimiento sea fácilmente replicable.

En la siguiente figura se muestra un diagrama general donde se indica las principales etapas de esta metodología, incluyendo desde el cálculo de la demanda energética, hasta la generación de la cartografía. Se incluye también los softwares o aplicaciones utilizados para cada etapa.

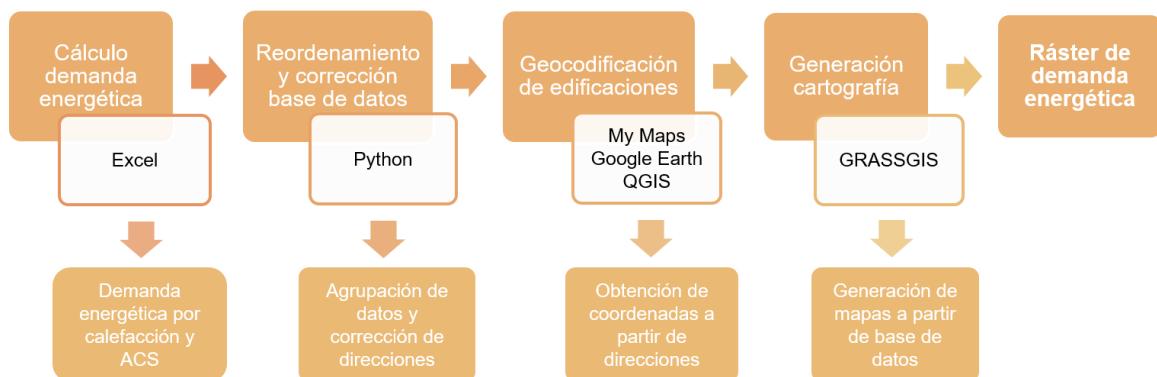


Figura 1 Diagrama general para metodología mapas de calor

A partir de los procesos indicados, se obtiene finalmente la cartografía para el mapa de calor, la cual consta de un archivo ráster que contiene la información de demanda energética asociada a 5 rangos de demanda de calor.

A continuación, se explica con mayor detalle cada etapa que permite la generación de un mapa de calor, según esta metodología.

5. Cálculo de demanda energética

A continuación, se describe la metodología utilizada para calcular la demanda energética de las edificaciones. Lo siguiente, se realiza para cada línea de edificación registrada en el SII.

5.1 Datos de entrada

Para poder caracterizar las distintas edificaciones en el territorio evaluado, se utilizan como base los datos del detalle catastral comunal del Servicio de Impuestos Internos ([Detalle Catastral SII](#)) como datos de entrada para el cálculo de la demanda energética. Los archivos del detalle catastral utilizados son “BRTMPCATASN” y “BRTMPCATASNL”, los cuales contienen los siguientes datos para cada construcción de edificación registrada en una determinada comuna:

Archivo BRTMPCATASN

Este archivo cuenta con los siguientes campos, necesarios para georreferenciar las edificaciones y correlacionar la información entre ambas bases de datos:

- Código comuna
- Número de manzana
- Número de predio
- Superficie construida
- Año de construcción
- Materialidad de la edificación de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1. Materialidades incluidas en el Detalle Catastral del SII

Materialidades SII	
GA	Acero
GB	Hormigón Armado
GC	Albañilería
GE	Madera
GL	Madera Laminada
GF	Adobe
OA	Acero
OB	Hormigón Armado
OE	Madera
SA	Silo de Acero
SB	Silo de Hormigón Armado
EA	Estanque de Acero
EB	Estanque de Hormigón Armado
M	Marquesina
P	Pavimento
W	Piscina
TA	Techumbre Apoyada de Acero
TE	Techumbre Apoyada de Madera
TL	Techumbre Apoyada de Madera Laminada
A	Acero A en tubos y perfiles.
B	Hormigón Armado.
C	Albañilería de ladrillo de arcilla, piedra, bloque de cemento u hormigón celular
E	Madera
F	Adobe
G	Perfiles metálicos
K	Estructura con elementos prefabricados e industrializados

- Destino de la construcción: Tipo de uso de la edificación. El archivo contiene distintos tipos de uso, sin embargo, para efectos de la elaboración de los mapas de calor, sólo

se considerarán los siguientes usos, que cuentan con información de base que permite hacer una estimación sobre su demanda de energía térmica.

Tabla 2 Tipos de uso de las edificaciones usados en los mapas de calor

Destino de la construcción	
E	Educación y Cultura
G	Hotel, Motel
H	Habitacional
O	Oficina
P	Administración Pública y Defensa
S	Salud

Archivo BRTMPCATASNL

Este archivo cuenta con los siguientes campos, necesarios para georreferenciar las edificaciones y correlacionar la información entre ambas bases de datos:

- Dirección
- Código comuna
- Número de manzana
- Número de predio

Cada fila del archivo descargado del detalle catastral es la información para una “línea de construcción” de una edificación, es decir, una construcción con las mismas condiciones dentro de una misma edificación. Por lo tanto, una edificación puede estar conformado por más de una línea de construcción.

5.2 Demanda energética por calefacción

En primer lugar, se calcula la demanda por calefacción, la cual incluye las pérdidas energéticas por la envolvente de las edificaciones y por las renovaciones de aire de las mismas.

A continuación, se presenta un diagrama general para el cálculo de la demanda energética por calefacción.

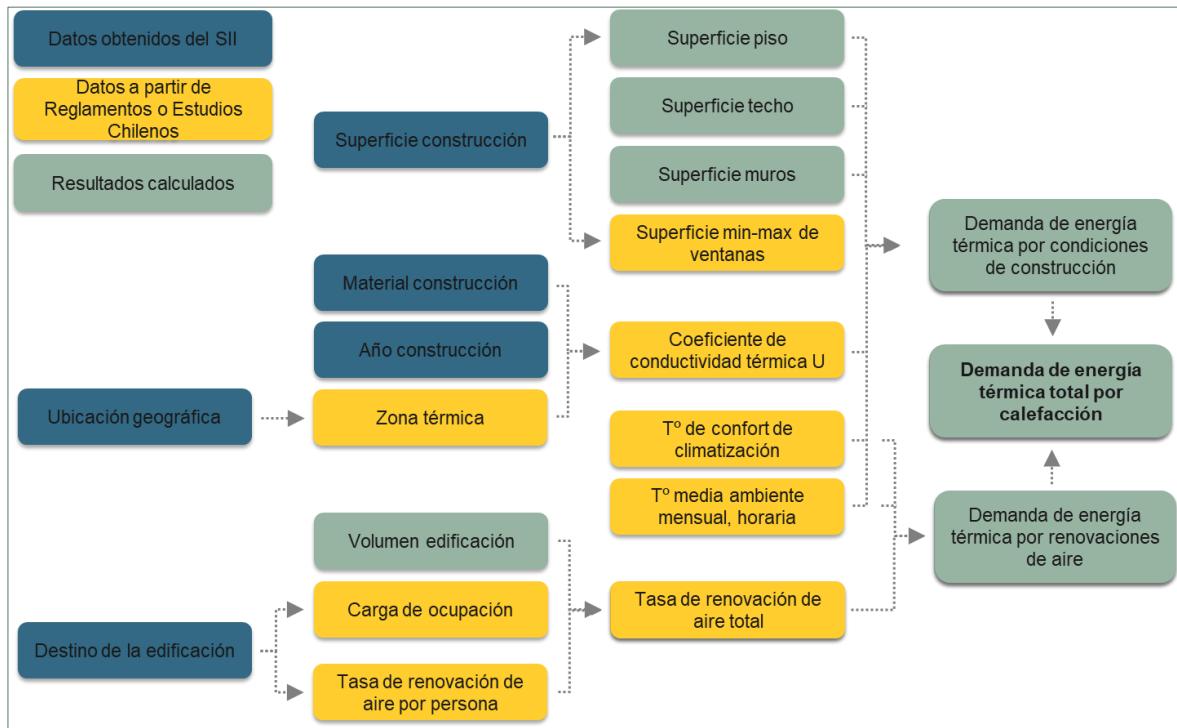


Figura 2 Diagrama metodología para el cálculo de la demanda energética por calefacción

5.2.1 Dimensiones de la envolvente

En primer lugar, se determinan las dimensiones de la edificación.

La superficie útil (S_u [m^2]) de la edificación se considera un 80% de la superficie construida (S_c [m^2]) indicada en el SII.

$$S_u = 0,8 * S_c [m^2]$$

La superficie de piso y techo es igual a la superficie útil.

En cuanto a la altura de la edificación (h [m]), se considera una altura mínima de 2,3 [m] para locales habitables (vivienda, hospedaje y oficinas), y de 2,2 [m] para establecimientos educacionales. Para establecimientos de salud se considera la altura de locales habitables [2].

Para el cálculo de la superficie de muros se considera una geometría cuadrada del piso. Se calcula la superficie bruta de muros (S_{Bm} [m^2], sin considerar ventanas), de la siguiente forma.

$$S_{Bm} = 4h\sqrt{S_u} [m^2]$$

Para obtener la superficie de muros final, se le debe restar a la superficie bruta de muros la superficie de ventanas.

La superficie de ventanas ($S_V [m^2]$) se obtiene mediante los parámetros mínimos y máximos de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), según el tipo de uso de la edificación.

En el caso residencial, hotel-motel, oficina y administración pública, se considera la superficie máxima de ventanas indicada para edificaciones residenciales, según la zona térmica donde se encuentra. La zona térmica se obtiene a partir del Mapa de Zonificación Térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo [3]. Este porcentaje se calcula sobre la superficie bruta de muros.

Tabla 3 Porcentaje máximo de ventanas en edificaciones residenciales

% Máximo ventanas, Residencial	
Zona térmica	% Ventana
1	50%
2	40%
3	25%
4	21%
5	18%
6	14%
7	12%

En el caso de establecimientos educacionales se considera la superficie mínima para recintos docentes, según la región en que se encuentre la edificación. El porcentaje se calcula sobre la superficie de la edificación.

Tabla 4 Porcentaje mínimo de ventanas en establecimientos educacionales

% Mínimo ventanas, Recintos docentes	
Regiones	% Ventana
I a IV y XV	14%
V a VII y RM	17%
VIII a XII y XIV	20%

Por último, para el caso de establecimientos de salud, se considera el porcentaje mínimo de ventanas indicado para sanatorios y hospitales, el cual corresponde a un 20% de la superficie del piso.

Tabla 5 Porcentaje mínimo de ventanas en establecimientos de salud

% Mínimo ventanas, Salud	20%
--------------------------	-----

A partir de la superficie de ventanas se obtiene la superficie de muros ($S_M [m^2]$), mediante la resta de la superficie bruta de muros y la superficie de ventanas.

$$S_M = S_{Bm} - S_V [m^2]$$

5.2.2 Pérdidas energéticas por envolvente

La transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente se obtiene a partir de la siguiente tabla [4], la cual depende de la materialidad, que considera madera, ladrillo y hormigón armado (HA); zona térmica y año de construcción.

Tabla 6 Transmitancia térmica según zona térmica, año de construcción y materialidad

Zona térmica	Materialidad	Año de construcción: Despues de 2007				Año de construcción: 2001 - 2007				Año de construcción: Antes de 2001			
		Ventana	Muro	Techo	Piso	Ventana	Muro	Techo	Piso	Ventana	Muro	Techo	Piso
Z1	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	3	0,84	1,4	5,8	2,7	0,84	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		
Z2	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	3	0,6	1,4	5,8	2,7	0,6	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		
Z3	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	1,9	0,47	1,4	5,8	2,7	0,47	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		
Z4	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	1,9	0,47	1,4	5,8	2,7	0,47	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		
Z5	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	1,9	0,47	1,4	5,8	2,7	0,47	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		
Z6	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	1,1	0,28	1,4	5,8	2,7	0,28	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		
Z7	Ladrillo						2,3				2,3		
	Madera	5,8	0,6	0,25	1,4	5,8	2,7	0,25	1,4	5,8	2,7	3,2	1,4
	HA						3,4				3,4		

Por otra parte, se obtiene la temperatura ambiente mediante los datos meteorológicos del Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), para cada comuna. Se utilizan los datos horarios para todo el año. Se calcula la temperatura promedio mensual para cada hora del día (T_{a-h} [°C]).

Respecto a los horarios de uso de sistemas de calefacción para cada tipo de edificación, estos se muestran a continuación:

Tabla 7 Horario de uso de calefacción

Tipo de uso de la edificación	Horario de uso	Días anuales de uso
Habitacional	Desde las 6:00 hasta las 23:00 hrs	365
Hotel-Motel	24 horas del día	365
Oficina	Desde las 8:00 hasta las 19:00 hrs	247
Administración pública	Desde las 8:00 hasta las 19:00 hrs	247
Educación y Cultura	Desde las 7:00 hasta las 19:00 hrs	184
Salud	24 horas del día	365

En los horarios de uso de calefacción, se considera una temperatura interior (T_i) de 18°C, la cual se utiliza a partir de la Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, del MINVU.

Así, se calcula las pérdidas energéticas debido a las condiciones de la envolvente, por hora, para cada mes del año (Q_{Eh}), de la siguiente forma. Lo anterior, se realiza sólo para el horario y número de días de uso de sistemas de calefacción en las edificaciones, lo cual se obtiene a

partir de la Tabla 7. Las horas en que la temperatura ambiente es mayor a la temperatura interna, es decir, mayor a 18°C, Q_{Eh} se considera nulo.

$$Q_{Eh} = (S_M * U_M + S_V * U_V + S_u * U_P + S_u * U_T) * (T_i - T_{a-h})$$

Donde U_M , U_V , U_P , U_T [W/m^2K] son las transmitancias térmicas de muro, ventana, piso y techo respectivamente, las cuales se obtienen a partir de la Tabla 6.

Posteriormente, se suma el valor anterior para cada hora del año, obteniendo el valor de la energía total perdida por la envolvente de la edificación (Q_E).

$$Q_E = \frac{\sum Q_{Eh}}{1000} \text{ [kWh/año]}$$

5.2.3 Pérdidas energéticas por renovaciones de aire

Por otra parte, se calcula la energía perdida por renovaciones de aire de la edificación, para lo cual se utiliza la carga ocupacional (C_o [$m^2/persona$]) de la edificación según su tipo de uso, obtenida de la OGUC (Tabla 9), y la tasa de recambio por persona (T_{ra-p} [$m^3/hr persona$]) según el tipo de uso de la edificación, obtenida del Manual de hermeticidad al aire de edificaciones (Tabla 10). Para el caso de edificios de administración pública, se utiliza los parámetros indicados para el uso de oficinas, y para el caso de hotel se asimila a habitacional.

Tabla 8 Carga ocupacional según uso de edificación

Uso edificación	$m^2/persona$
Habitacional	
≤ 60 m^2	15
>60 - 140 m^2	20
> 140 m^2	30
Oficinas	10
Comercio	6
Educación y cultura	6
Salud	8
Hotel/Motel	18

Tabla 9 Tasa de recambio de aire por persona, según uso de edificación

Uso edificación	L/s persona	$m^3/h persona$
Educacional	5	17
Oficinas	3	9
Salud	6	23
Habitacional	5	18

En el caso de hoteles, se toma en cuenta además la tasa de ocupabilidad de las habitaciones por región (T_{o-h}), obtenida del Informe estadísticas del SERNATUR, la cual se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 10 Tasa ocupabilidad habitaciones de hoteles, SERNATUR 2014

Región	Tasa ocupación
Nacional	36%
Arica y Parinacota	40%
Tarapacá	36%
Antofagasta	49%
Atacama	30%
Coquimbo	37%
Valparaíso	31%

Metropolitana	68%
Libertador General Bernardo O'Higgins	28%
Maule	25%
Biobío	31%
La Araucanía	34%
Los Ríos	32%
Los Lagos	37%
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	27%
Magallanes y la Antártica Chilena	37%

Mediante los parámetros anteriores, se calcula el número de personas de la edificación (N_p), de la siguiente forma, donde, $T_{o-h} = 1$ para todos los usos exceptuando Hotel/Motel donde se ocupa la información de la Tabla 11.

$$N_p = \frac{S_c}{C_o} * T_{o-h}$$

Posteriormente, se calcula la tasa de recambio de aire de la edificación (T_{ra}):

$$T_{ra} = T_{ra-p} * N_p \ [m^3/h]$$

Luego, se calcula las pérdidas de calor debido a renovaciones de aire por hora (Q_{RAh}), para cada mes del año y cada hora del año de los días ocupados, según el horario indicado, lo que se obtiene a partir de la Tabla 7. Las horas en que la temperatura ambiente es mayor a la temperatura interna, es decir, mayor a 18°C, Q_{RAh} se considera nulo.

$$Q_{RAh} = T_{ra} * \rho_{aire} * C_{p\ aire} * (T_i - T_{a-h})$$

Donde $\rho_{aire} = 1,23 [kg/m^3]$ es la densidad del aire a una temperatura de 15°C, y $C_{p\ aire} = 1,006 [kJ/kgK]$ es el calor específico.

Posteriormente, se suma el valor anterior para cada hora, obteniendo el valor de la energía total perdida por renovaciones de aire durante un año (Q_{RA}).

$$Q_{RA} = \sum Q_{RAh} \ [kWh/año]$$

5.2.4 Demanda energética total por calefacción

Finalmente, se obtiene la demanda de energía total por calefacción ($Q_{calefaccion}$) sumando la pérdida energética por las condiciones de la envolvente y por renovaciones de aire.

$$Q_{calefaccion} = Q_E + Q_{RA} \ [kWh/año]$$

5.3 Demanda energética por agua caliente sanitaria

Se calcula además la energía necesaria para el consumo de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en cada edificación. A continuación, se presenta un diagrama de la metodología utilizada para calcular la demanda energética por agua caliente sanitaria.

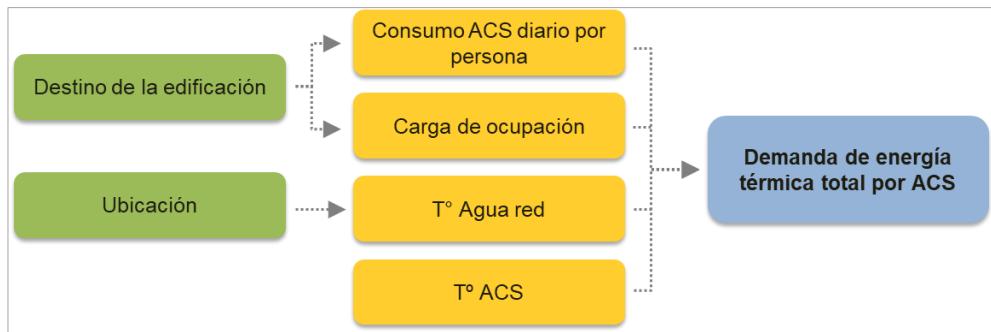


Figura 3 Diagrama metodología para el cálculo de la demanda de calor por ACS

La demanda energética en este caso se calcula a partir de datos de consumo de ACS por persona según el tipo de uso de la edificación. Se utilizan los datos obtenidos por la IDAE [9], y datos del Ministerio de Energía para el consumo de ACS del caso habitacional. En la siguiente tabla se indican los consumos según el uso de la edificación.

Tabla 11 Consumo diario de ACS por persona según tipo de uso de edificación. El ACS se considera a 60°C

Uso edificación	Consumo ACS [L/persona-día]
Habitacional	60
Salud	48
Hotel/Motel	43
Educatonal	4
Oficinas	2
Administración pública¹	2
Comercial	0

Luego, utilizando los datos de consumos de ACS diario por persona (C_{ACS}) indicados arriba, se calcula la energía anual demandada por el consumo de ACS en cada edificación (Q_{ACS}) de la siguiente forma.

$$Q_{ACS} = N_p * C_{ACS} * n_{días} * C_{p\ agua} * (T_{ACS} - T_{red}) / 3600 \text{ [kWh/año]}$$

Donde $n_{días}$ es el número de días de uso de la edificación, el cual se obtiene a partir de la Tabla 7, $C_{p\ agua}$ es el calor específico del agua, igual a 4,18 [kJ/kgK], T_{ACS} es la temperatura del agua caliente sanitaria, la cual se considera 60°C y T_{red} es la temperatura del agua de la red de cada comuna, la cual se puede obtener a partir de la Norma Técnica para Sistemas Solares Térmicos [10].

5.4 Demanda energética anual total

Finalmente, se calcula la energía demandada anualmente por cada edificación sumando la energía demandada por calefacción y por ACS calculadas anteriormente.

$$D_{total} = Q_{calefacción} + Q_{ACS} \text{ [kWh/año]}$$

Mediante lo anterior, se puede obtener la demanda total de energía para cada línea de construcción de las edificaciones presentes en la base de datos del SII.

¹ Para este caso se utiliza el consumo para oficinas.

6. Análisis y corrección de la base de datos

Los datos obtenidos a partir de los pasos anteriores se deben reordenar de una forma determinada para el posterior procesamiento de los datos.

Se debe crear un archivo Excel que contenga la siguiente tabla. Es importante que se mantenga el orden de las columnas de la tabla tal como se indica a continuación.

Tabla 12 Datos que debe contener el archivo excel final generado

Nº comuna	Nº manzana	Nº predio	Superficie [m ²]	Uso edificación	Energía [kWh año]
...

Antes de realizar la geocodificación de los datos para la posterior generación de la cartografía, se debe realizar un manejo de la base de datos generando reajustes o correcciones a algunos de los datos, lo cual se explica en esta sección. Lo anterior se realiza mediante el software Python, a través del código adjunto a la metodología.

A continuación, se presenta un esquema del proceso de análisis y corrección de datos, donde se tiene la base de datos obtenida mediante el paso anterior, con datos del SII de la edificación y su demanda energética, en el formato de la Tabla 12, y la base de datos descargada del SII con las direcciones de cada edificación, como datos de entrada para el código Python, y, como datos de salida se tiene la base de datos con energía y direcciones incluidas en formato “.xls”, la cual se debe transformar a formato “.xlsx” como se indica en los siguientes puntos.

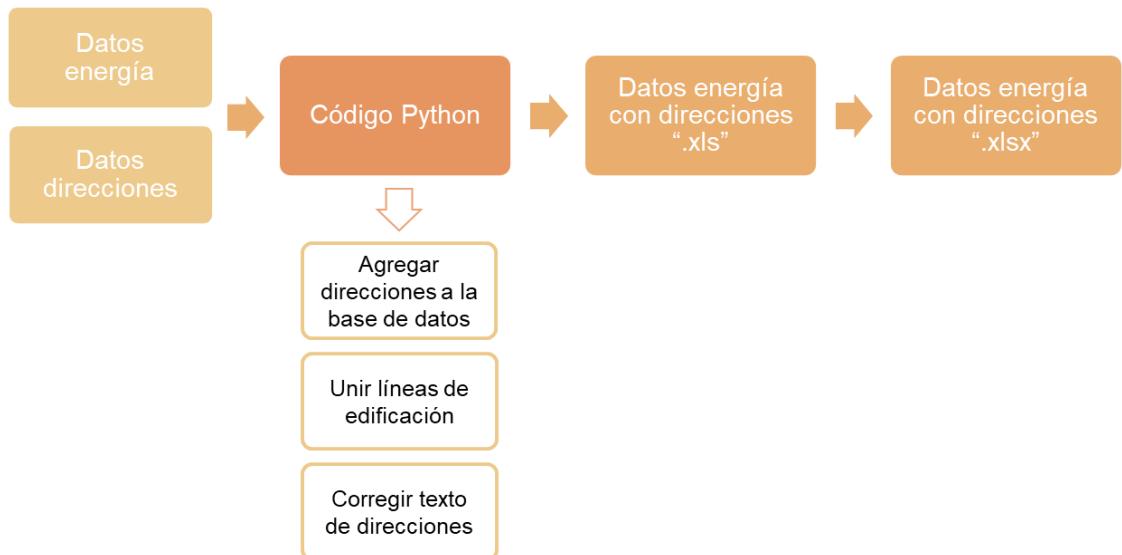


Figura 4 Esquema para el proceso de análisis y corrección de los datos

Para el uso de este código se debe crear una carpeta donde se guarden los archivos Python adjuntados, el archivo “.xlsx” resultante de la etapa anterior, y todos los archivos utilizados en este proceso. Los archivos que se creen mediante los códigos Python se guardarán automáticamente en esta misma carpeta. Los nombres y formatos de los archivos deben coincidir con los nombres indicados en el presente documento.

6.1 Uso del archivo Python

El código a utilizar tiene como objetivo, en primer lugar, juntar todas las líneas de edificación de una misma edificación, y, en segundo lugar, el conectar las direcciones de las edificaciones a la demanda energética obtenida de éstas, además de la corrección de estas direcciones.

Para lo anterior, se utiliza el archivo Python de nombre “Analisis y corrección de datos”. Para ejecutar este código, se debe tener el archivo Excel resultante de la etapa anterior, de formato “.xlsx” y que contenga la información de la Tabla 12 en el mismo orden indicado. El archivo debe tener el nombre “Energia por linea edificacion” (debe escribirse exactamente igual, sin tildes).

Además, para ejecutar este código se debe copiar a la carpeta de trabajo el archivo BRTMPCATASN (el cual se descarga desde la página del SII, en el link indicado en este documento) en formato “.xlsx”, y se le debe nombrar “Direcciones SII”.

Para ejecutar el código, sólo se debe hacer doble click en el archivo Python, indicado en la Figura 5.

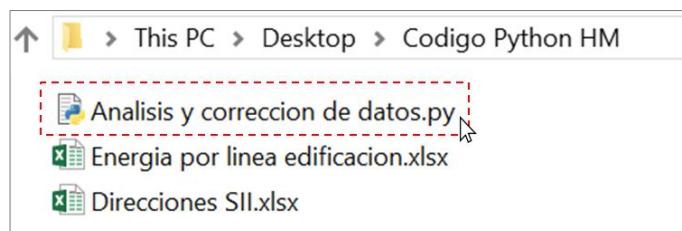


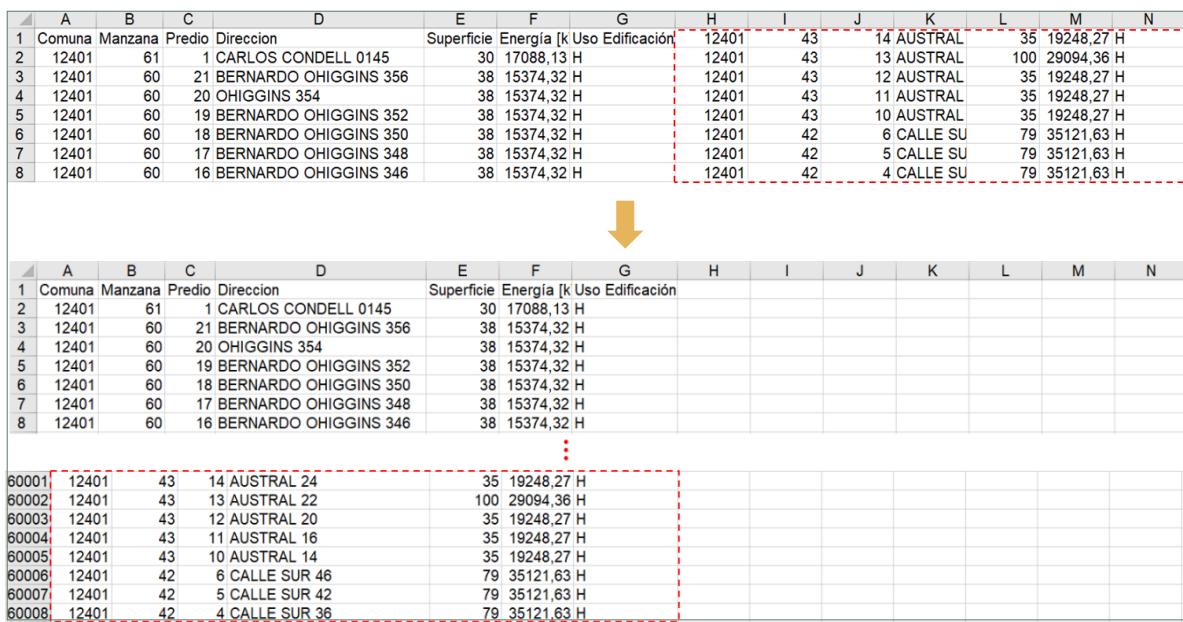
Figura 5 Carpeta de trabajo para ejecutar el código python

Al finalizar la ejecución del código, se generará un nuevo archivo “.xls” de nombre “Energia con Direcciones Final”, en la misma carpeta de trabajo. El archivo contendrá la información que se indica en la Tabla 13.

Tabla 13 Datos que contiene el archivo generado mediante el código Python Análisis y corrección de datos

Comuna	Manzana	Predio	Dirección	Superficie [m ²]	Energía [kWh/año]	Uso Edificación
...

Si la base de datos tiene más de 60.000 filas, es decir, si se tienen más de 60.000 edificaciones, a partir de la edificación en la fila número 60.001 se crearán nuevas columnas con los datos. Esto sucede debido a que el formato “.xls” no admite un mayor número de filas. Por lo tanto, para continuar, se deberá guardar el archivo en el formato “.xlsx”, y luego, copiar la información de las nuevas columnas a las columnas principales, luego de la fila 60.000. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo sería el archivo “.xls”, donde las columnas desde la A hasta la G tendrían información hasta la fila 60.001, y las columnas desde la H hasta la N el resto de la información, y de cómo sería el archivo “.xlsx” en el cual se tiene toda la información en las columnas desde la A hasta la G.



The diagram illustrates a data processing workflow. It starts with a large Excel spreadsheet (top) containing 60,000 rows of data. A yellow arrow points down to a smaller version of the spreadsheet (middle), where the last 8 rows (from row 60001 to 60008) are highlighted with a red dashed box. Another yellow arrow points down to a KMZ file (bottom), where the same 8 rows are also highlighted with a red dashed box.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Comuna	Manzana	Predio	Direccion	Superficie	Energía [kW]	Uso Edificación	12401	43	14 AUSTRAL	35	19248,27 H		
2	12401	61	1	CARLOS CONDELL 0145	30	17088,13 H		12401	43	13 AUSTRAL	100	29094,36 H		
3	12401	60	21	BERNARDO OHIGGINS 356	38	15374,32 H		12401	43	12 AUSTRAL	35	19248,27 H		
4	12401	60	20	OHIGGINS 354	38	15374,32 H		12401	43	11 AUSTRAL	35	19248,27 H		
5	12401	60	19	BERNARDO OHIGGINS 352	38	15374,32 H		12401	43	10 AUSTRAL	35	19248,27 H		
6	12401	60	18	BERNARDO OHIGGINS 350	38	15374,32 H		12401	42	6 CALLE SU	79	35121,63 H		
7	12401	60	17	BERNARDO OHIGGINS 348	38	15374,32 H		12401	42	5 CALLE SU	79	35121,63 H		
8	12401	60	16	BERNARDO OHIGGINS 346	38	15374,32 H		12401	42	4 CALLE SU	79	35121,63 H		

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Comuna	Manzana	Predio	Direccion	Superficie	Energía [kW]	Uso Edificación							
2	12401	61	1	CARLOS CONDELL 0145	30	17088,13 H								
3	12401	60	21	BERNARDO OHIGGINS 356	38	15374,32 H								
4	12401	60	20	OHIGGINS 354	38	15374,32 H								
5	12401	60	19	BERNARDO OHIGGINS 352	38	15374,32 H								
6	12401	60	18	BERNARDO OHIGGINS 350	38	15374,32 H								
7	12401	60	17	BERNARDO OHIGGINS 348	38	15374,32 H								
8	12401	60	16	BERNARDO OHIGGINS 346	38	15374,32 H								

60001	12401	43	14 AUSTRAL 24	35	19248,27 H
60002	12401	43	13 AUSTRAL 22	100	29094,36 H
60003	12401	43	12 AUSTRAL 20	35	19248,27 H
60004	12401	43	11 AUSTRAL 16	35	19248,27 H
60005	12401	43	10 AUSTRAL 14	35	19248,27 H
60006	12401	42	6 CALLE SUR 46	79	35121,63 H
60007	12401	42	5 CALLE SUR 42	79	35121,63 H
60008	12401	42	4 CALLE SUR 36	79	35121,63 H

Figura 6 Ejemplo de base de datos con más de 60.000 edificaciones

Por lo tanto, luego de generar el archivo “.xlsx”, se debe cortar la información de todas las filas con información de las columnas desde la H hasta la N, y pegarlas después de la última fila con información de las columnas principales (desde la A hasta la G).

7. Geocodificación de los datos

En esta etapa se geocodificará las direcciones de la base de datos obtenida, es decir, se obtendrán las coordenadas de cada edificación, para así ser capaz de ubicarla en el mapa. Para esto se utilizarán los softwares My maps ([Link My Maps](#)), Google Earth y QGIS.



Figura 7 Metodología general para la geocodificación de los datos. Se indican los archivos de entrada y de salida para cada software

En primer lugar, se utiliza la aplicación web My Maps, la cual permite obtener las coordenadas de las edificaciones a partir de la dirección. Para esto, se debe separar la base de datos resultante de la etapa anterior, en distintos archivos Excel con hasta 2.000 datos cada uno, lo cual se debe realizar ya que My Maps no admite más de 2.000 direcciones por proceso. Al ingresar a la aplicación se debe apretar la opción “Crear un nuevo mapa” e importar el archivo Excel con la información.

Posteriormente, se debe descargar el archivo KMZ que contendrá la información geocodificada, como se indica en la Figura 8.

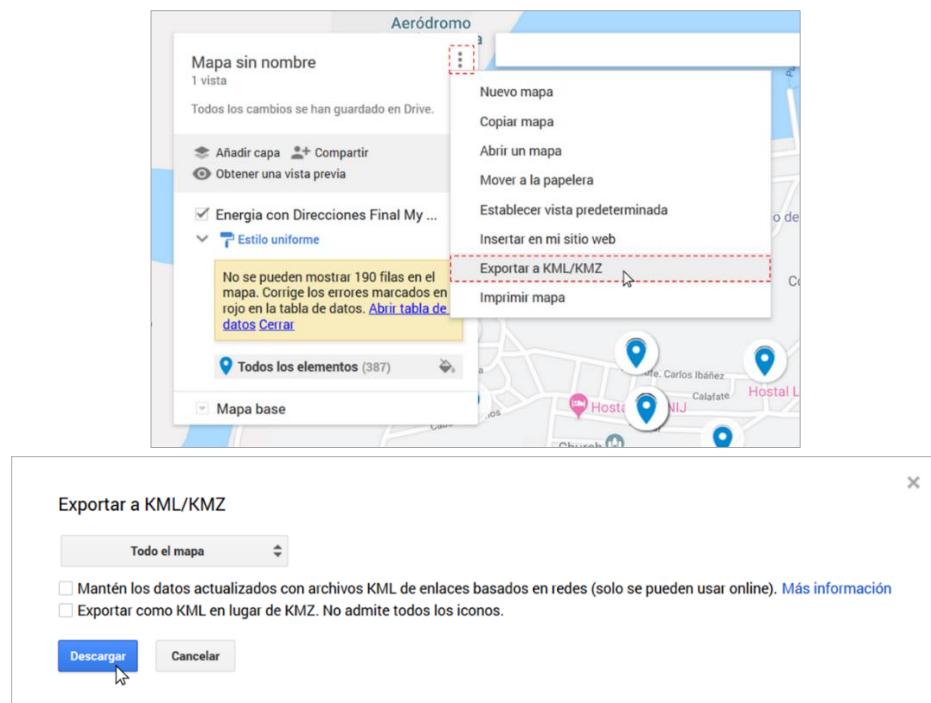


Figura 8 Guía para exportar el archivo KMZ desde My Maps

Luego, en el programa Google Earth se debe importar el archivo KMZ descargado anteriormente. Se debe esperar a que se terminen de cargar los datos, es decir, cuando terminan de aparecer los puntos de georreferenciados en el mapa, lo cual puede demorar varios minutos dependiendo del número de los datos. Posteriormente, se debe descargar el nuevo archivo de formato KMZ generado por Google Earth, tal como se muestra en la Figura 9.



Figura 9 Guía para exportar el archivo KMZ desde Google Earth

Luego, se debe ocupar el software QGIS, mediante el cual se obtendrán las coordenadas de cada punto. En primer lugar, se debe importar el archivo KMZ descargado de Google Earth, para lo cual se utiliza el complemento de QGIS “KML tools”, que se encuentra en la caja de

herramientas de QGIS. Luego de importar los datos, se podrán visualizar los puntos en el mapa de QGIS, como se muestra en la siguiente figura.

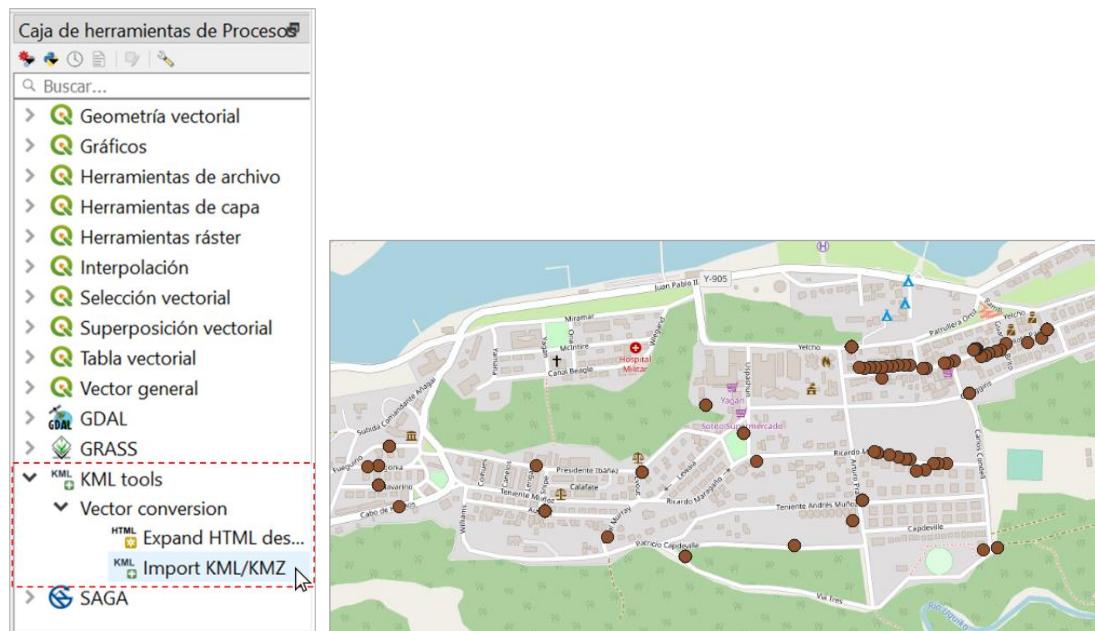


Figura 10 Guía para importar el archivo KMZ generado por Google Earth, en QGIS

Posteriormente, se debe abrir la tabla de atributos de la capa importada. En ésta, mediante la calculadora de campos se debe agregar la coordenada X y la coordenada Y, y luego copiar la información de la tabla de atributos a un archivo Excel, en el cual sólo se deben dejar las siguientes columnas, como se muestra en la Figura 11.

- Comuna
- Energía
- Manzana
- Predio
- Superficie
- Uso edificación
- X
- Y

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Comuna	Energía [KWh/año]	Manzana	Predio	Superficie [m ²]	Uso Edificación	X	Y
2	12401	1,88E+09	61	10	34	H	-67,5981392	-54,934051
3	12401	2,05E+09	61	9	38	H	-67,5981392	-54,934051
4	12401	2,05E+09	61	8	38	H	-67,5981392	-54,934051
5	12401	2,05E+09	61	7	38	H	-67,5981392	-54,934051
6	12401	2,05E+09	61	6	38	H	-67,5981392	-54,934051
7	12401	2,05E+09	61	5	38	H	-67,5982756	-54,9341834
8	12401	3,33E+09	61	4	58	H	-67,5986303	-54,9342475
9	12401	1,71E+09	61	1	30	H	-67,5994357	-54,937332
10	12401	2,85E+09	63	8	61	H	-67,5981392	-54,934051

Figura 11 Ejemplo de base de datos resultante a partir de la geocodificación

El proceso descrito anteriormente se debe realizar para todos los archivos Excel generados. Al finalizar el proceso para todos los archivos, los datos de cada uno de éstos se deben juntar en un único archivo Excel.

8. Generación de la cartografía

Para la generación de la cartografía final se utiliza el software GRASSGIS, este último utilizado para el reordenamiento de los datos.

Se adjunta a la metodología el archivo “.zip” de nombre “Mapa de calor”, el cual contiene los datos necesarios para utilizar el software GRASSGIS para realizar el reordenamiento de los datos. El archivo “.zip” se debe extraer y dejar la carpeta “Mapa de calor” guardada. Al abrir el programa, se debe ingresar la dirección donde está contenida esta carpeta, y luego iniciar sesión en la aplicación, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12 Ingreso de dirección de carpeta «Mapa de calor» en el software GRASSGIS

Posteriormente, se debe ejecutar el módulo r.in.xyz, el cual se utiliza para generar el mapa ráster a partir del archivo CSV generado anteriormente, generando un mapa con una grilla de 100x100 m², en la cual se suman todos los datos de energía de los puntos interiores en cada celda.

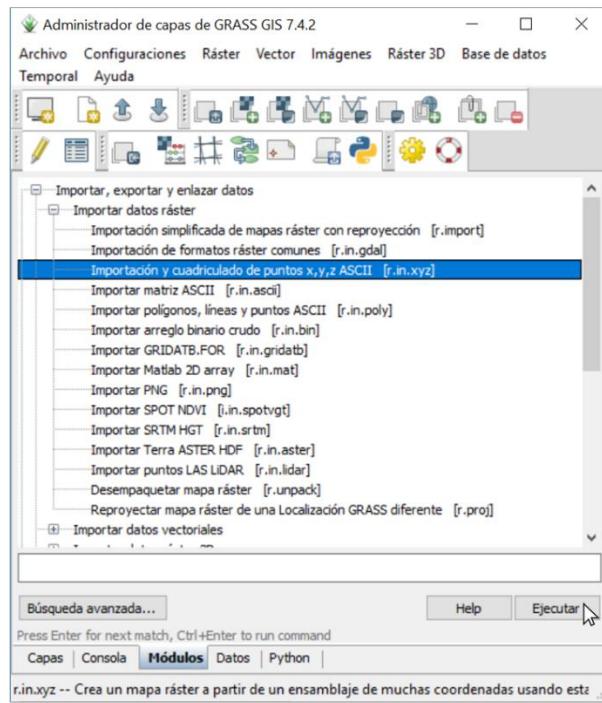


Figura 13 Módulo r.in.xyz para generar mapa ráster a partir de archivo CSV

Al ejecutar este módulo se abrirá un nuevo cuadro, en el que, en primer lugar, se debe ingresar el archivo CSV a utilizar y nombrar el archivo que se generará. Luego, en la sección “Estadístico”, se debe ingresar la estadística a utilizar, en este caso la suma “sum”. Finalmente, se debe ingresar el número de columna del archivo CSV de la coordenada X, Y y de Energía respectivamente, este último se debe ingresar en “Número de columna de los valores de datos en el archivo de entrada”. Además, se debe indicar el número de líneas del encabezado del archivo, en este caso 1. Luego de realizar lo anterior, se debe ejecutar el módulo.

A partir del paso anterior se creará una capa ráster con la demanda energética por celdas de 100x100 m², la cual quedará guardada en la sección de capas, como se muestra en la Figura 14.

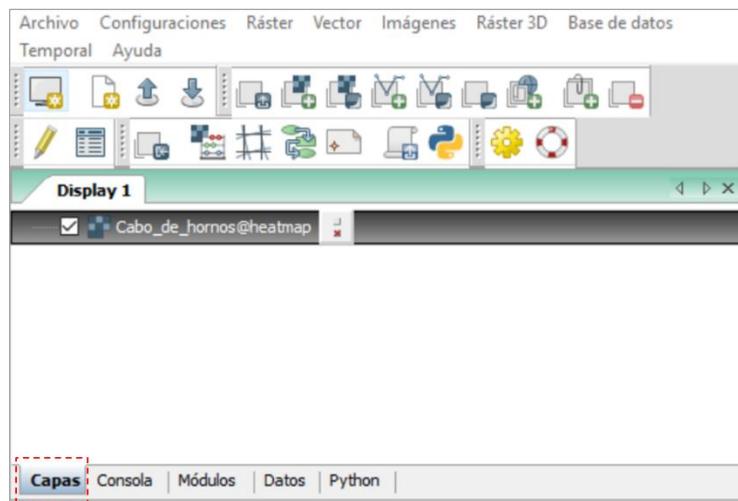


Figura 14 Capas generadas

A continuación, se debe generar el rango de demanda energética para mostrar en el mapa. Esto se realiza utilizando la Calculadora de mapas ráster del software GRASSGIS.

Se propone utilizar el siguiente rango de energía, sin embargo, si se desea es posible utilizar uno distinto.

<15 [kWh/m² año]
15-30 [kWh/m² año]
30-50 [kWh/m² año]
50-70 [kWh/m² año]
70-90 [kWh/m² año]
>90 [kWh/m² año]

Para lo anterior, se debe ingresar las condiciones en la calculadora ráster. En la sección “Expresión” se debe escribir lo siguiente:

“if(Cabo_de_hornos @heatmap<150,0,if(Cabo_de_hornos @heatmap<300,1,if(Cabo_de_hornos @heatmap<500,2,if(Cabo_de_hornos @heatmap<700,3,if(Cabo_de_hornos @heatmap<900,4,5))))”

Donde “Cabo_de_hornos@heatmap” es el nombre de la capa generada en la etapa anterior, y se debería reemplazar por el nombre particular que le asigne cada usuario a su trabajo. Además, se debe indicar el nombre del archivo de salida.

Mediante lo anterior, se generará una nueva capa en la sección de “Capas”, la cual se debe exportar para poder obtener el mapa ráster final. A partir de esto se obtiene finalmente el archivo ráster con la demanda de energía total, para una grilla de 100x100 m² de la comuna respectiva, el cual se puede visualizar en softwares tales como QGIS.

El proceso anterior se puede realizar para la demanda energética total, considerando todos los usos de edificación considerados en esta metodología presentes en la comuna, en el cual se obtiene el mapa de calor para la comuna completa y contemplando todos los usos de edificación considerados; o también, para la demanda energética total para cada uno de los usos, mediante lo cual se obtendría un mapa de calor para cada uso.

9. Bibliografía

- [1] Detalle Catastral Comunal (Servicio de Impuestos Internos). Link: [Detalle Catastral SII](#)
- [2] Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018)
- [3] Mapa de Zonificación Térmica (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006)
- [4] Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile (Corporación de Desarrollo Tecnológico - CDT, 2010)
- [5] Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire - SINCA (Ministerio del Medio Ambiente). Link: [Datos meteorológicos SINCA](#)
- [6] Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009)
- [7] Manual de hermeticidad al aire de edificaciones (Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción Universidad del Bío-Bío, Dirección de Extensión en Construcción UC, 2014)
- [8] Informe estadísticas (Servicio Nacional de Turismo, 2014)
- [9] Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios (Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía - IDAE, 2017)
- [10] Norma Técnica que determina algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares Térmicos acogidos a la franquicia tributaria de la Ley N° 20.365 (Ministerio de Energía, 2010)
- [11] My maps ([Link My Maps](#))