



**UNIVERSIDAD  
MAYOR**

**FORMULACIÓN DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA EN  
BASE A COGENERACIÓN PARA ESCUELA BÁSICA Y  
POSTA RURAL EN SAN JOSÉ DE MARCHIGÜE,  
REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS**

**CRISTÓBAL DÍAZ SANTIS**

**24 de agosto de 2022**



# INTRODUCCIÓN

- ✓ Demanda Energética: Electricidad y Calor
- ✓ Temperatura Ambiente
- ✓ Cogeneración



# OBJETIVOS

## ✓ General

Formulación de una solución energética basada en la autosustentabilidad energética de la Escuela Básica San José y la Posta de Salud Rural de San José de Marchigüe, comuna de Pichidegua, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.



## ✓ Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación energética actual de ambos establecimientos.
- Identificar las demandas energéticas de ambas edificaciones para el diseño de un sistema de Cogeneración, definiendo su viabilidad.
- Presentar la solución energética en base a Cogeneración para su implementación.



## ANTECEDENTES GENERALES

- ✓ Envolverte Térmica
- ✓ Eficiencia Energética
- ✓ Confort Térmico



## ANTECEDENTES GENERALES

- ✓ Eficiencia Energética
- ✓ Confort Térmico

### ✓ Envoltente Térmica

- ⚙ Es el conjunto de cerramientos que separan el exterior con el interior de un recinto habitable. Estos cerramientos pueden ser complejos de techumbre, muros perimetrales, muros traslúcidos (ventanas) y pisos ventilados, y se ordenan de la misma manera en relación con su importancia.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC)



## ANTECEDENTES GENERALES

✓ Envolverte Térmica

✓ Confort Térmico

### ✓ Eficiencia Energética

- ⚙ El uso eficiente de la energía es reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios. Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE)
- ⚙ En febrero de 2021, se publicó en el Diario Oficial la primera Ley de Eficiencia Energética del país (Ley N.º 21.305), para promover el uso eficiente de los recursos energéticos del país. (Ministerio de Energía y Biblioteca del Congreso Nacional 2021)



## ANTECEDENTES GENERALES

- ✓ Envolverte Térmica
- ✓ Eficiencia Energética

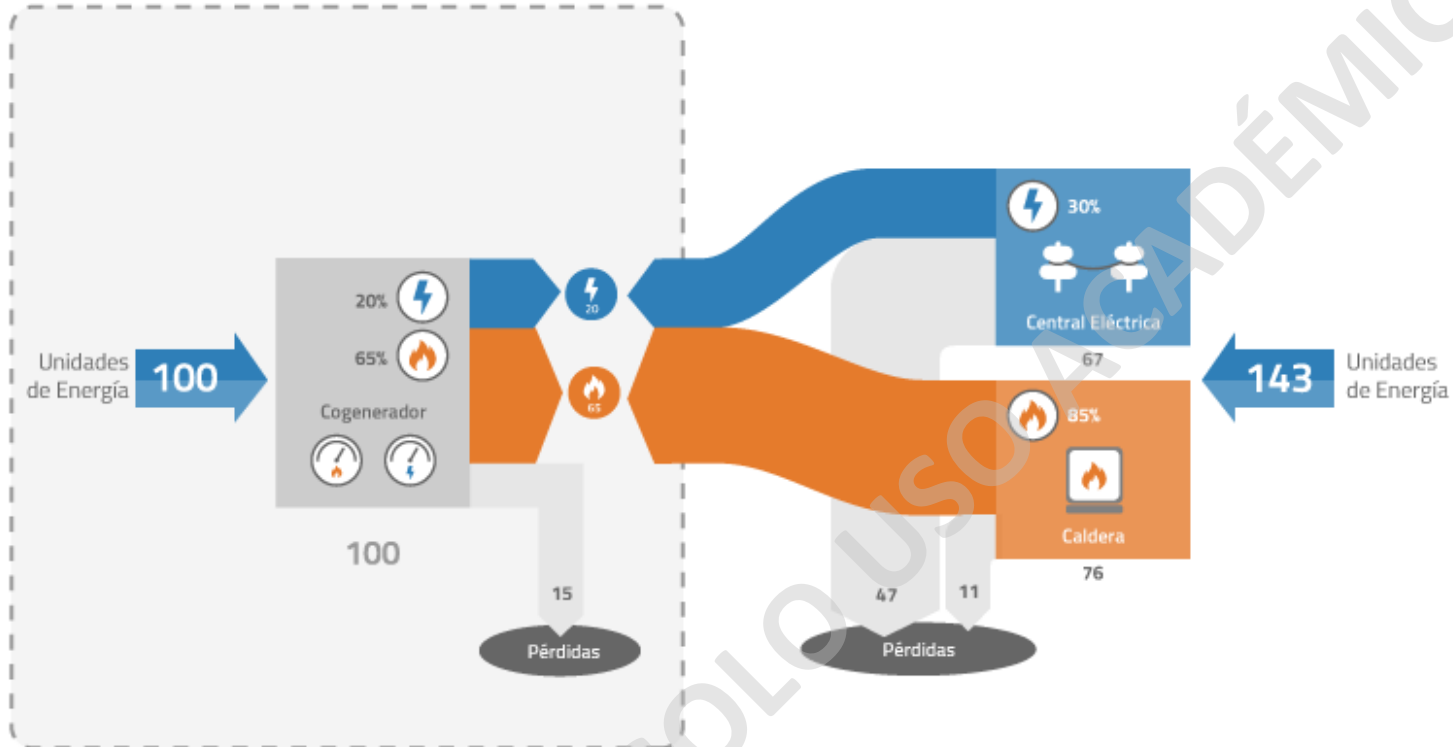
### ✓ Confort Térmico

- ⚙ El confort térmico es la sensación de un individuo frente a un ambiente térmico determinado. La Norma ISO 7730 lo define como “una condición mental en la que se expresa la satisfacción por el ambiente térmico”.
- ⚙ Según la OMS, la temperatura de confort se sitúa entre los 16°C y 21°C.
- ⚙ Para poder llegar a la sensación de confort, las ganancias y pérdidas de energía deben estar en equilibrio, logrando un balance térmico que conserve la temperatura normal.

# COGENERACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADA

Generación de energía eléctrica y térmica con cogeneración

Generación convencional



## MARCO TEÓRICO

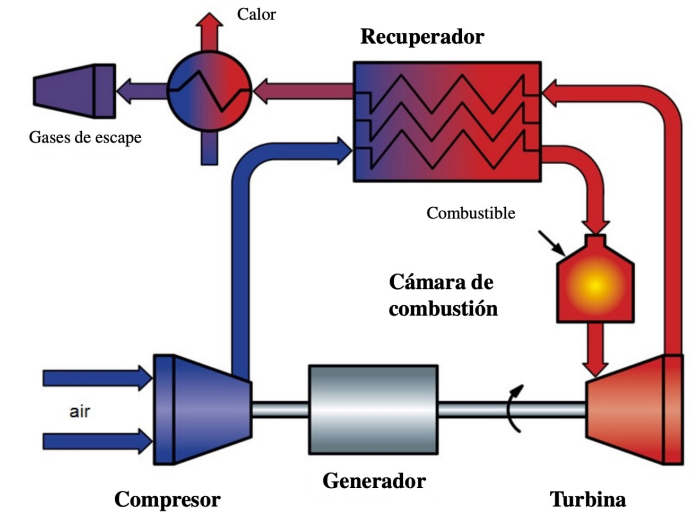
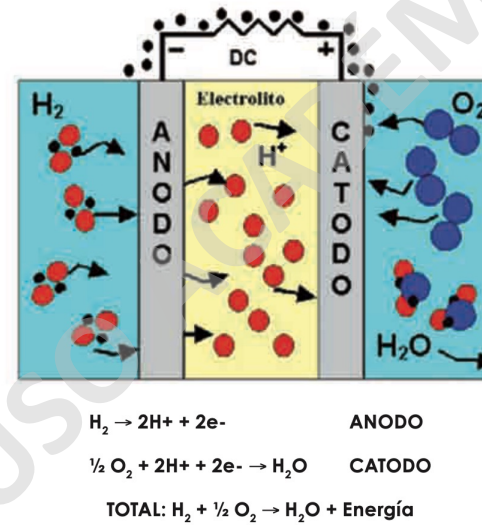
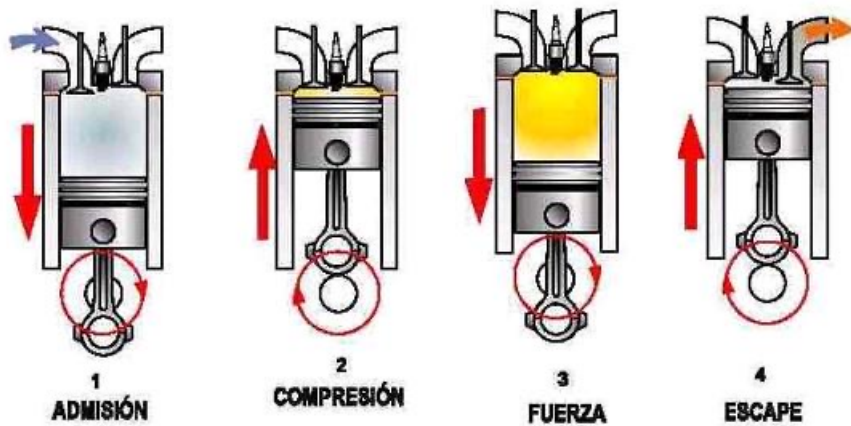


# DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE COGENERACIÓN

✓ Motor Alternativo de Combustión Interna

✓ Celdas de Combustible

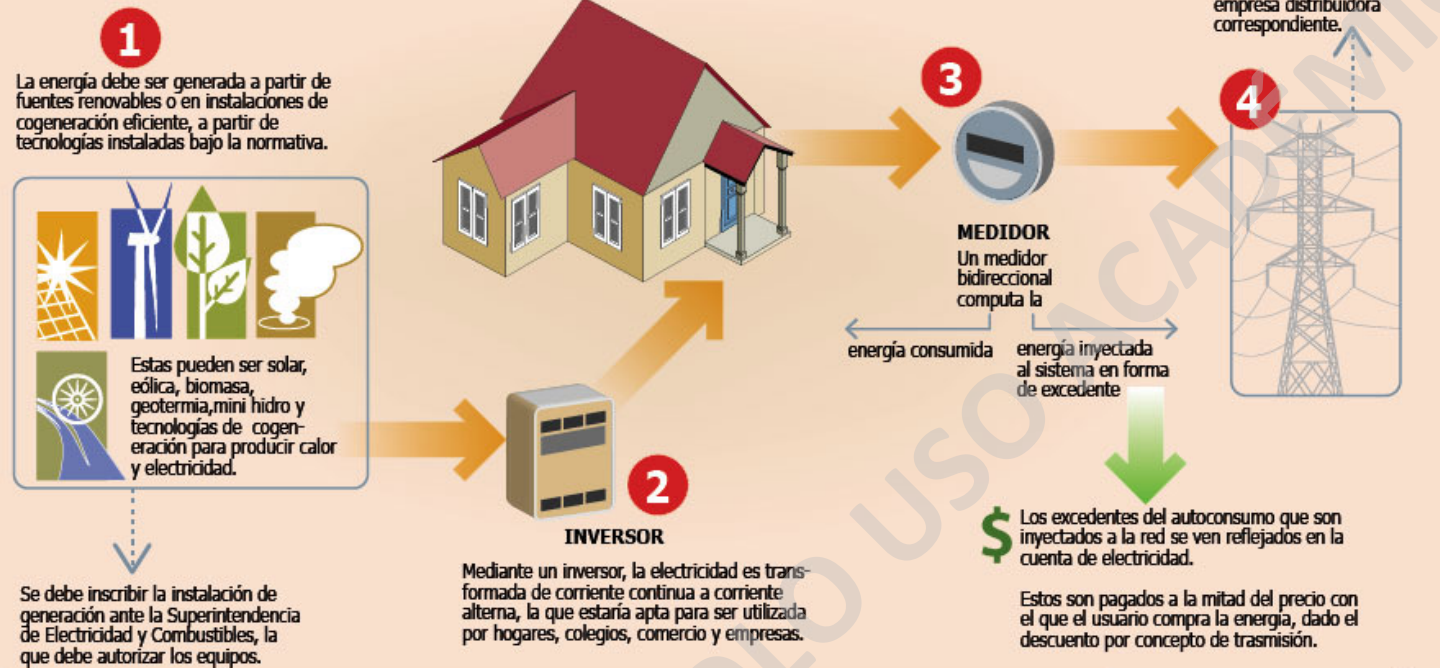
✓ Microturbina de Gas



## MARCO TEÓRICO

# LEY Nº20.571 DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

## ¿Cómo funciona la Ley de Generación Distribuida?



FUENTE: DF CON DATOS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA  
INFOGRAFÍA: MABEL FLORES



## MARCO TEÓRICO

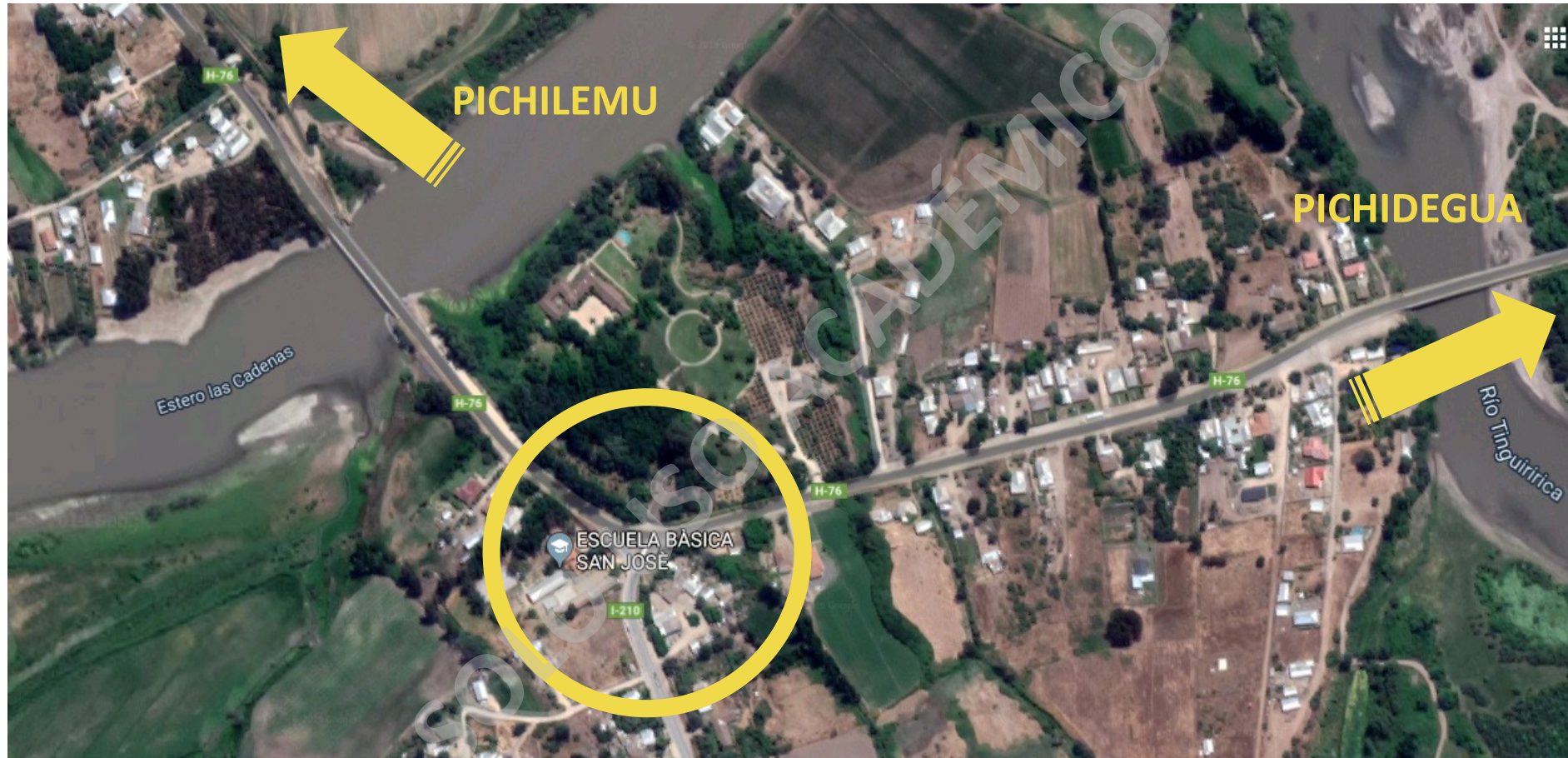
# METODOLOGÍA



- ✓ Diagnóstico ambos establecimientos
- ✓ Análisis de demanda energética
- ✓ Funcionamiento del sistema

## CASO DE ESTUDIO

# CASO DE ESTUDIO





# CASO DE ESTUDIO



## DIAGNÓSTICO

ESCUELA BÁSICA SAN JOSÉ



POSTA DE SALUD RURAL DE SAN JOSÉ DE MARCHIGÜE



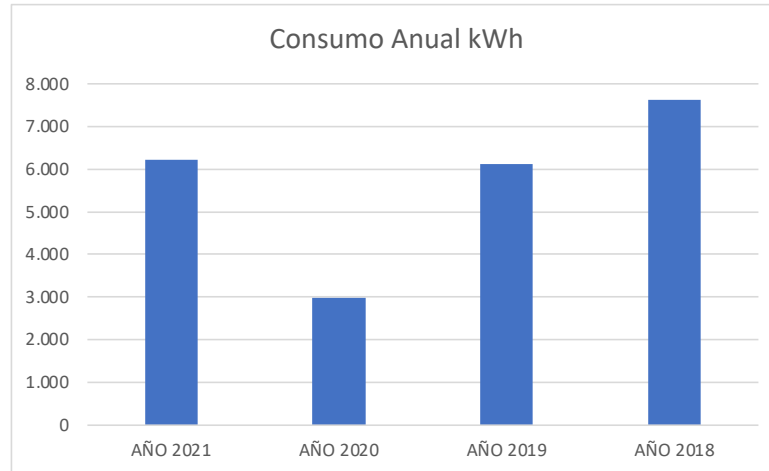


# DIAGNÓSTICO

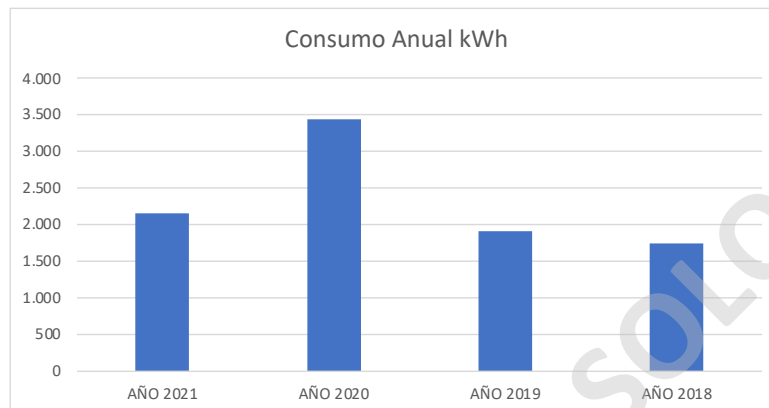
- ✓ Consumo Eléctrico
- ✓ Consumo ACS
- ✓ Consumo Calefacción



## Consumo Eléctrico Escuela 4 años



## Consumo Eléctrico PSR 4 años



Fuente: Boletas de consumo

## CARENCIAS ESCUELA

- ✓ Calefacción sólo en sala pre básica
- ✓ No se consume ACS (sólo JUNAEB)
- ✓ Cada vez que hay un accidente vehicular o mucho viento se corta la luz

## CARENCIAS POSTA SALUD RURAL

- ✓ No hay sistema de calefacción
- ✓ No se consume ACS (sólo la vivienda)



# DIAGNÓSTICO





## ➤ CALEFACCIÓN Y TEMPERATURA DE CONFORT

- ✓ Decreto 548 MINEDUC
- ✓ NCh. Nº 1079
- ✓ Salto térmico hasta los 16°C





- ✓ Decreto 548 MINEDUC
- ✓ NCh. N° 1079
- ✓ Salto térmico hasta los 16°C

## ➤ CALEFACCIÓN Y TEMPERATURA DE CONFORT

- ✓ Ley de enfriamiento de Newton

$$Q = A \cdot U \cdot (T_{interior} - T_{exterior})$$

A: Área de transferencia de calor [m<sup>2</sup>]

U: Transmitancia térmica [W/m<sup>2</sup>K]

T: Temperatura

La ley del enfriamiento de Newton establece que la tasa de pérdida de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y sus alrededores.

Área de transferencia de calor

| Superficie (m2)  | Techumbre | Muros  | Ventanas | Puertas | Piso Perimetral |
|------------------|-----------|--------|----------|---------|-----------------|
| Escuela          | 427,2     | 371,5  | 79,7     | 26,1    | 159,1           |
| Posta + vivienda | 314,79    | 194,89 | 74,61    | 11,59   | 106,76          |

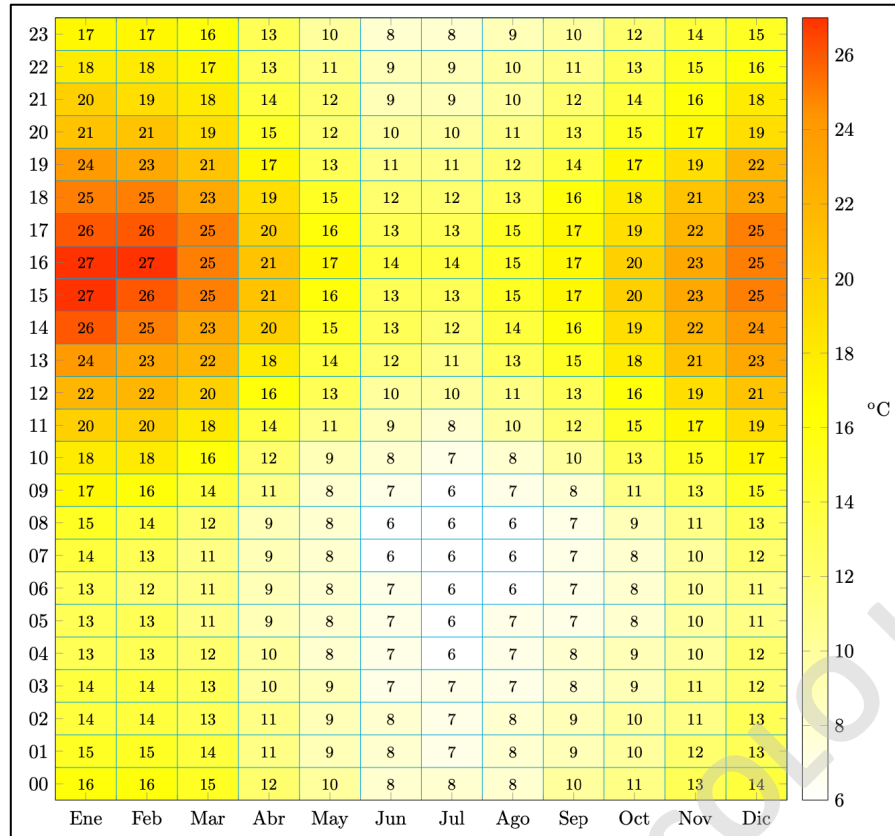
Transmitancia Térmica

| U [W/m2K]        | Techumbre | Muros | Ventanas | Puertas |
|------------------|-----------|-------|----------|---------|
| Escuela          | 0,47      | 1,9   | 5,8      | 1,49    |
| Posta + vivienda | 0,47      | 1,9   | 5,3      | 5,3     |



# RESULTADOS

Promedio temperatura para cada mes y hora del año



Fuente: Explorador Solar

$$Q = A \cdot U \cdot (T_{interior} - T_{exterior})$$

| Diferencia de tº debido al salto térmico hasta los 16ºC |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
|---------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 23:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 3   | 6   | 8   | 8   | 7   | 6    | 4   | 2   | 1   |
| 22:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 3   | 5   | 7   | 7   | 6   | 5    | 3   | 1   | 0   |
| 21:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 2   | 4   | 7   | 7   | 6   | 4    | 2   | 0   | 0   |
| 20:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 1   | 4   | 6   | 6   | 5   | 3    | 1   | 0   | 0   |
| 19:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 5   | 5   | 4   | 2    | 0   | 0   | 0   |
| 18:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 4   | 4   | 3   | 0    | 0   | 0   | 0   |
| 17:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 1   | 0    | 0   | 0   | 0   |
| 16:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 1   | 0    | 0   | 0   | 0   |
| 15:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 1   | 0    | 0   | 0   | 0   |
| 14:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 3   | 4   | 2   | 0    | 0   | 0   | 0   |
| 13:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 4   | 5   | 3   | 1    | 0   | 0   | 0   |
| 12:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 6   | 6   | 5   | 3    | 0   | 0   | 0   |
| 11:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 2   | 5   | 7   | 8   | 6   | 4    | 1   | 0   | 0   |
| 10:00                                                   | 0   | 0   | 0   | 4   | 7   | 8   | 9   | 8   | 6    | 3   | 1   | 0   |
| 09:00                                                   | 0   | 0   | 2   | 5   | 8   | 9   | 10  | 9   | 8    | 5   | 3   | 1   |
| 08:00                                                   | 1   | 2   | 4   | 7   | 8   | 10  | 10  | 10  | 9    | 7   | 5   | 3   |
| 07:00                                                   | 2   | 3   | 5   | 7   | 8   | 10  | 10  | 10  | 9    | 8   | 6   | 4   |
| 06:00                                                   | 3   | 4   | 5   | 7   | 8   | 9   | 10  | 10  | 9    | 8   | 6   | 5   |
| 05:00                                                   | 3   | 3   | 5   | 7   | 8   | 9   | 10  | 9   | 9    | 8   | 6   | 5   |
| 04:00                                                   | 3   | 3   | 4   | 6   | 8   | 9   | 10  | 9   | 8    | 7   | 6   | 4   |
| 03:00                                                   | 2   | 2   | 3   | 6   | 7   | 9   | 9   | 9   | 8    | 7   | 5   | 4   |
| 02:00                                                   | 2   | 2   | 3   | 5   | 7   | 8   | 9   | 8   | 7    | 6   | 5   | 3   |
| 01:00                                                   | 1   | 1   | 2   | 5   | 7   | 8   | 9   | 8   | 7    | 6   | 4   | 3   |
| 00:00                                                   | 0   | 0   | 1   | 4   | 6   | 8   | 8   | 8   | 6    | 5   | 3   | 2   |
|                                                         |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
|                                                         | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |

|                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| Demanda Térmica PSR + vivienda | 33.909 [kWh/anual] |
|--------------------------------|--------------------|

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| Demanda Térmica Calefacción Escuela | 21.700 [kWh/anual] |
|-------------------------------------|--------------------|

## ➤ AGUA CALIENTE SANITARIA

✓ Energía Necesaria para producir ACS

$$E_{ACS} = \frac{1}{3.600} \cdot \rho \cdot C_{ACS} \cdot (t_{ACS} - t_{AF}) \cdot C_p$$

$E_{ACS}$  : Energía para producir agua caliente sanitaria [kWh/día]

$\rho$  : Densidad del Agua [kg/l] = 0,983

$C_{ACS}$  : Consumo de Agua Caliente Sanitaria [l/día]

$t_{ACS}$  : Temperatura de ACS [°C]

$t_{AF}$  : Temperatura de agua fría [°C]

$C_p$  : Calor específico del agua [kJ/kg·K] = 4,185

Manual de metodología y evaluación social de proyectos de agua  
caliente sanitaria domiciliaria – Ministerio de Desarrollo Social y  
Familia (2019)



## RESULTADOS

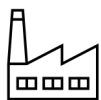
## ➤ AGUA CALIENTE SANITARIA

| Ítem                         | Unidad           | Valor Escuela |
|------------------------------|------------------|---------------|
| Consumo criterio             | [l/día/persona]  | 5             |
| Número de alumnos            | persona          | 71            |
| Coef. Simultaneidad          | -                | 0,9           |
| Consumo Diario               | [l/día]          | 320           |
| Consumo Anual                | [m3/año]         | 117           |
| <b>Demanda Térmica Anual</b> | <b>[kWh/año]</b> | <b>5.944</b>  |

| Ítem                         | Unidad           | Vivienda     | Posta Rural  |
|------------------------------|------------------|--------------|--------------|
| Consumo criterio Tabla 10    | [l/día/persona]  | 40           | 8            |
| Número de personas           | persona          | 4            | 8            |
| Coef. Simultaneidad          | -                | 0,9          | 0,9          |
| Consumo Diario               | [l/día]          | 144          | 58           |
| Consumo Anual                | [m3/año]         | 53           | 21           |
| <b>Demanda Térmica Anual</b> | <b>[kWh/año]</b> | <b>2.679</b> | <b>1.072</b> |



## RESULTADOS



# EQUIPOS DE COGENERACIÓN

- Demanda Térmica : 7,45 kW (65.304 kWh/año)
- Demanda Eléctrica : 1,2 kW (10.310 kWh/año)

Celda de Combustible



Motor alternativo  
de Combustión Interna



Microturbina



C65 ICHP Microturbine



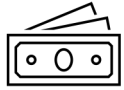
# EQUIPOS DE COGENERACIÓN

| Proveedor                          | Helbio                 | EC POWER               | ISPG Distribuidor Capstone Chile |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Modelo del Equipo                  | H2PS-5                 | XRGI 6                 | C65                              |
| Tipo de tecnología                 | Celda de Combustible   | Motor Alternativo      | Microturbina                     |
| Tipo de Celda                      | PEM                    |                        |                                  |
| Combustible                        | GN, GLP, Biogás        | GN                     | GN                               |
| Potencia Eléctrica nominal         | 5 [kW]                 | 6 [kW]                 | 65 [kW]                          |
| Potencia Térmica nominal           | 7 [kW]                 | 12,4 [kW]              | 70 [kW]                          |
| Eficiencia global                  | 85%                    | 92,40%                 | 90%                              |
| Eficiencia eléctrica               | 35%                    | 30,10%                 | 28%                              |
| Eficiencia térmica                 | 50%                    | 62,30%                 | 62%                              |
| Capacidad de modulación            | 40 a 100%              | 50 a 100%              | -                                |
| Dimensiones (largo x ancho x alto) | 0,65 x 0,75 x 1,65 [m] | 0,93 x 0,64 x 0,96 [m] | 0,76 x 2,20 x 2,36 [m]           |
| Peso                               | 200 [kg]               | 440 Kg                 | Entre 998 y 1.364 [kg]           |



- Demanda Térmica : 7,45 kW
- Demanda Eléctrica : 1,2 kW





# EVALUACIÓN ECONÓMICA

## ➤ INGRESOS

- ✓ Venta de energía eléctrica a la red

## ➤ EGRESOS

- ✓ Costo de la Energía primaria (GN)
- ✓ Mantenciones
- ✓ Depreciación
- ✓ Gastos Financieros (Adquisición y puesta en marcha del equipo CHP)

## ➤ SUPUESTOS

- ✓ Valor de Instalación y puesta en Marcha de equipo CHP equivale a un 3% del valor comercial
- ✓ Mantención anual 5% del valor comercial
- ✓ Depreciación según tabla SII= 10 años
- ✓ Financiamiento a 5 años con una tasa de 10%
- ✓ Horizonte de evaluación a 20 años, aplicando tasa de descuento de un 12%
- ✓ Combustible utilizado en los equipos corresponde a Gas Natural

# EQUIPO CHP CAPSTONE C65 (Microturbina)

Valores en M\$/año

|                                    | Año 0    | Año 1   | Año 2   | Año 3   | Año 5   | Año 6   | Año 10  | Año 15  | Año 20  |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ingresos por ventas                | 0        | 43.480  | 43.480  | 43.480  | 43.480  | 43.480  | 43.480  | 43.480  | 43.480  |
| Costos Energía                     | 0        | -31.123 | -31.123 | -31.123 | -31.123 | -31.123 | -31.123 | -31.123 | -31.123 |
| Margen Bruto                       | 0        | 12.357  | 12.357  | 12.357  | 12.357  | 12.357  | 12.357  | 12.357  | 12.357  |
| Mantenciones (-)                   | 0        | -7.179  | -7.179  | -7.179  | -7.179  | -7.179  | -7.179  | -7.179  | -7.179  |
| Depreciación (-)                   | 0        | -14.359 | -14.359 | -14.359 | -14.359 | -14.359 | -14.359 | 0       | 0       |
| Gastos Financieros (-)             | 0        | -1.232  | -990    | -746    | -251    |         |         |         |         |
| UAII                               | 0        | -10.413 | -10.171 | -9.926  | -9.431  | -9.181  | -9.181  | 5.178   | 5.178   |
| Impuestos (27%)                    | 0        | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | -1.398  | -1.398  |
| UDII                               | 0        | -10.413 | -10.171 | -9.926  | -9.431  | -9.181  | -9.181  | 3.780   | 3.780   |
| Depreciación (+)                   | 0        | 14.359  | 14.359  | 14.359  | 14.359  | 14.359  | 14.359  | 0       | 0       |
| Gastos Financieros (+)             | 0        | 1.232   | 990     | 746     | 251     | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Financiamiento 5 años (+)          | 147.893  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Cuota Crédito (-)                  | 0        | -30.322 | -30.322 | -30.322 | -30.322 | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Inversión                          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Compra Equipo (-)                  | -143.585 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Instalación y Puesta en Marcha (-) | -4.308   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Flujo Caja Final                   | 0        | -30.322 | -30.322 | -30.322 | -30.322 | 5.178   | 5.178   | 3.780   | 3.780   |

## INDICADORES DE EVALUACIÓN

|     |           |
|-----|-----------|
| VAN | -\$91.837 |
| TIR | -8,2%     |



Se puede concluir que el margen operativo con este equipo es positivo desde el periodo nº6 y que se logran obtener utilidades desde el 11vo año, pero no es rentable la implementación de esta solución energética en términos de inversión por sí misma.

➤ VALOR REFERENCIAL EQUIPO: USD 162,500 \*

\*: Valor según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y su división de CHP (EPA Combined Heat and Power Partnership)



## EVALUACIÓN ECONÓMICA

# EQUIPO CHP EC POWER WRGI 6 (Combustión Interna)

Valores en M\$/año

|                                    | Año 0  | Año 1  | Año 2  | Año 3  | Año 5  | Año 6  | Año 10 | Año 15 | Año 20 |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ingresos por ventas                | 0      | 3.275  | 3.275  | 3.275  | 3.275  | 3.275  | 3.275  | 3.275  | 3.275  |
| Costos Energía                     | 0      | -5.799 | -5.799 | -5.799 | -5.799 | -5.799 | -5.799 | -5.799 | -5.799 |
| Margen Bruto                       | 0      | -2.523 | -2.523 | -2.523 | -2.523 | -2.523 | -2.523 | -2.523 | -2.523 |
| Mantenciones (-)                   | 0      | -398   | -398   | -398   | -398   | -398   | -398   | -398   | -398   |
| Depreciación (-)                   | 0      | -795   | -795   | -795   | -795   | -795   | -795   | 0      | 0      |
| Gastos Financieros (-)             | 0      | -68    | -55    | -41    | -14    |        |        |        |        |
| UAII                               | 0      | -3.784 | -3.771 | -3.757 | -3.730 | -3.716 | -3.716 | -2.921 | -2.921 |
| Impuestos (27%)                    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| UDII                               | 0      | -3.784 | -3.771 | -3.757 | -3.730 | -3.716 | -3.716 | -2.921 | -2.921 |
| Depreciación (+)                   | 0      | 795    | 795    | 795    | 795    | 795    | 795    | 0      | 0      |
| Gastos Financieros (+)             | 0      | 68     | 55     | 41     | 14     | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Financiamiento 5 años (+)          | 8.191  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Cuota Crédito (-)                  | 0      | -1.679 | -1.679 | -1.679 | -1.679 | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Inversión                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Compra Equipo (-)                  | -7.952 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Instalación y Puesta en Marcha (-) | -239   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Flujo Caja Final                   | 0      | -4.600 | -4.600 | -4.600 | -4.600 | -2.921 | -2.921 | -2.921 | -2.921 |

## INDICADORES DE EVALUACIÓN

|     |           |
|-----|-----------|
| VAN | -\$27.870 |
| TIR |           |



Al tener sólo valores negativos en el flujo de caja en cada período, no se puede calcular la Tasa Interna de Retorno, por eso no aparece ningún valor en los indicadores de evaluación.

➤ VALOR REFERENCIAL EQUIPO: USD 9,000 \*

\*: Valor según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y su división de CHP (EPA Combined Heat and Power Partnership)



# EVALUACIÓN ECONÓMICA



# CONCLUSIONES

- La Cogeneración a pequeña escala basada en tecnologías de microturbinas de gas, celdas de combustible y motores alternativos de combustión interna, además de las otras tecnologías desarrolladas para aplicaciones de mayor tamaño, representan un polo de desarrollo e incentivo para la descarbonización de la matriz energética del país y dar paso a energías más limpias y eficientes.
- Si bien estas tecnologías se están actualizando año tras año y se presentan en diferentes ferias alrededor del mundo, la tecnología aún representa un alto valor de mercado para su implementación a nivel local.
- La Cogeneración a pequeña escala representa además una gran oportunidad para lugares como la Escuela Básica de San José y la Posta de Salud Rural de San José de Marchigüe, donde se requiere descentralizar la producción energética eléctrica para lograr mayor fiabilidad de la misma, además de incorporar calefacción distrital. Se espera que en un futuro cercano los valores de estos equipos bajen y su utilización se incremente de manera importante.

- El análisis económico arroja que los resultados no son auspiciosos para la implementación de esta tecnología en La Escuela Básica y la Posta de Salud Rural, siendo el costo de los equipos CHP la barrera de entrada. Sin embargo, en un análisis más sensible se puede concluir de todas maneras que, según la ruta para la descarbonización del país y la estrategia nacional del Hidrógeno Verde, el Estado debería impulsar la implementación de esta y otras tecnologías a través de distintos programas y financiamientos.
- Se observa como inevitable la participación del Estado para lograr cambiar la matriz energética del país a una más sostenible y ecológica, con la participación de las comunidades rurales y eliminando las altas barreras de entrada, tornándose cada vez más competitivas. En el caso de La Escuela Básica y la Posta de Salud Rural la contribución puede ir directamente a la adquisición de los equipos CHP, subsidios a los combustibles, nuevas regulaciones de precios por energía generada e inyectada a la red del sistema eléctrico nacional (SEN), etc., que harían viable la implementación del sistema.
- Se visualiza como posible que podrían someterse a análisis a empresas ESCO (Energy Service Company), que asumen la inversión e implementación de las nuevas tecnologías eficientes y luego se pagan con los ahorros generados en un período de tiempo a convenir entre las partes.



**UNIVERSIDAD  
MAYOR**

**MUCHAS GRACIAS**

**CRISTÓBAL DÍAZ SANTIS**

**24 de agosto de 2022**