



Energía solar térmica en industria



# Potencial de Aplicación de la Energía Solar en Procesos Industriales Térmicos en Chile

Alfredo González García

*Santiago, 07 de Diciembre de 2018*

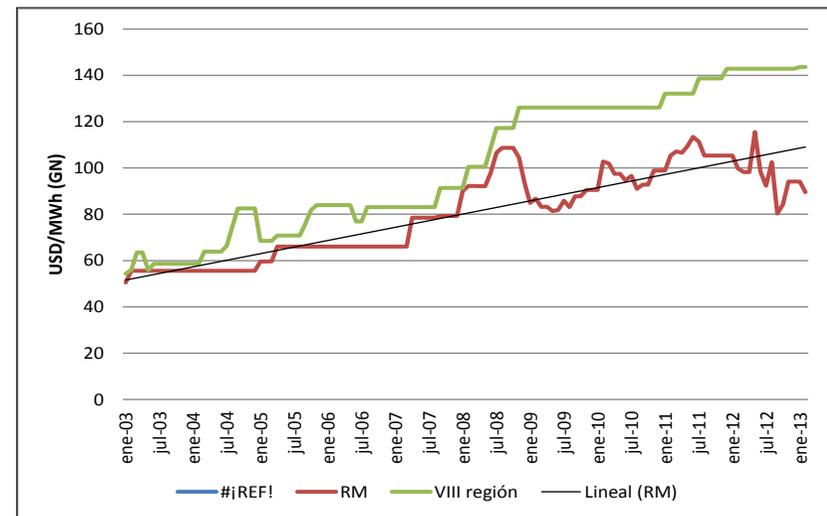
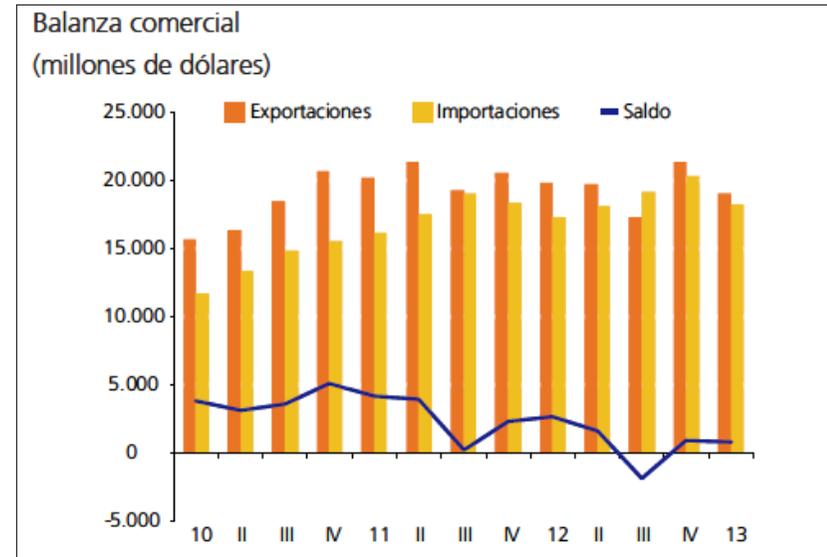
*Seminario "Tecnologías Solares para Suministro de Calor en Procesos Industriales"*

Proyecto apoyado por

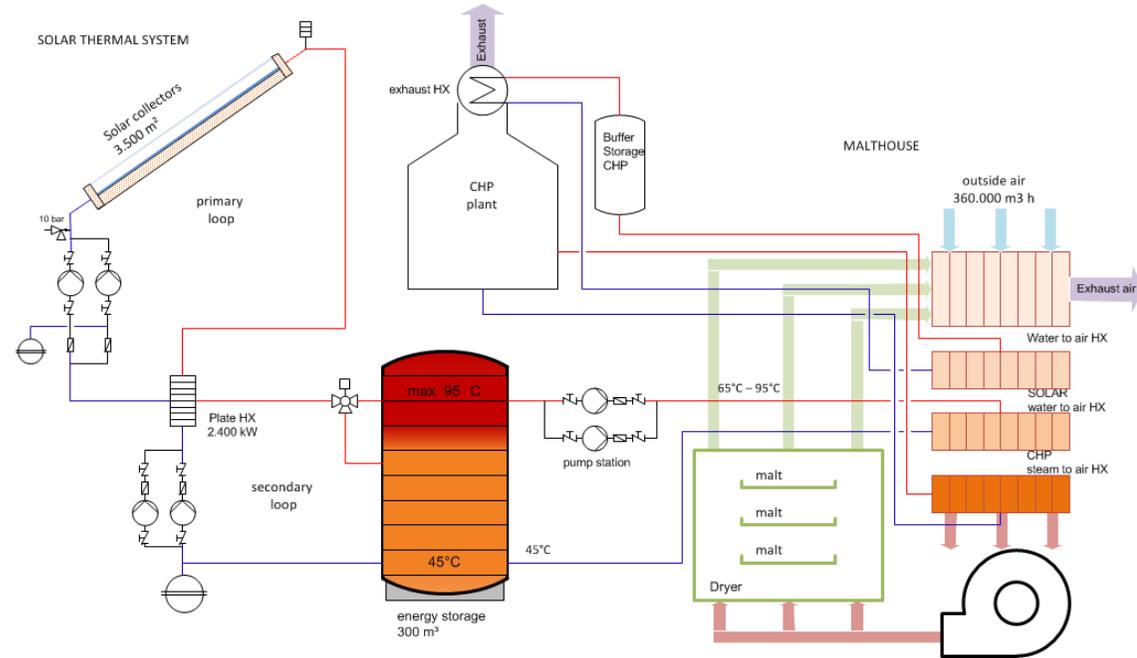


# Motivación. La Problemática

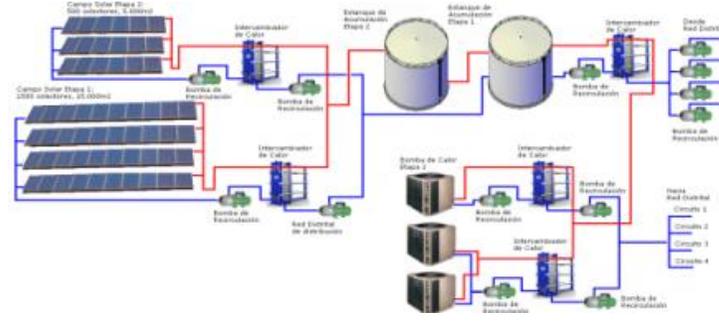
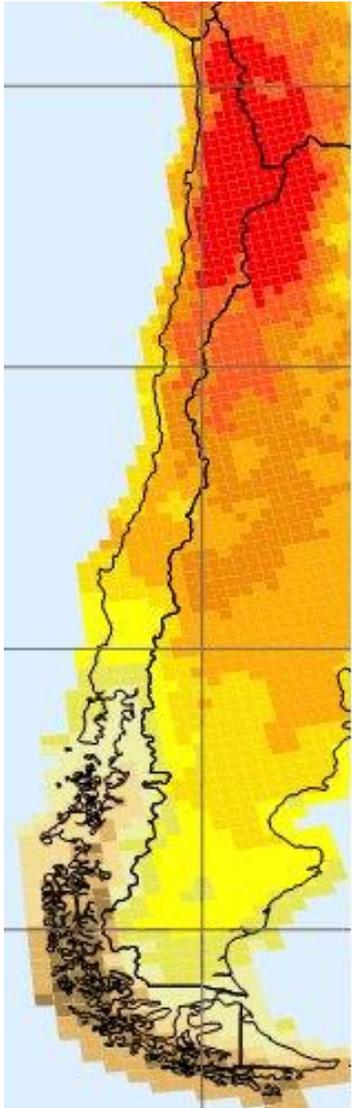
- Industria y Minería consumen un 37% de la Energía Secundaria de Chile
- Un 88% de dicha energía es importada y representa un 15,6% de los bienes importados, 11.704 Millones de US\$
- El costo promedio de la energía térmica ronda los 100US\$/MWh, restando competitividad a la Industria Chilena



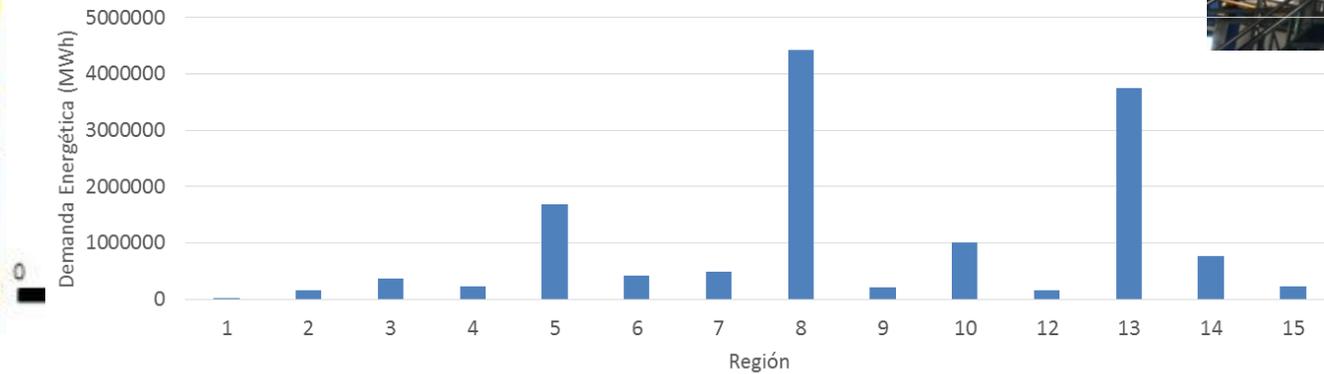
# La Oportunidad



# La Oportunidad



Demanda Energética Total Industria No-Minera



- Los procesos industriales susceptibles de ser apoyados con **energía solar térmica** representan un **13% del consumo en Industria y Minería** y un **5% del consumo total de Energía Secundaria**
- El **ahorro potencial** identificado en Appsol es de **548 Millones de US\$**, un 0,7% de las importaciones de bienes y un 8,8% de la Balanza Comercial
- La producción local de dicha energía, conlleva la **generación de un nuevo mercado**
- La reducción de costos de la energía **mejora la competitividad de la Industria Chilena**



The screenshot shows the Appsol website homepage. At the top, the Appsol logo is displayed with the tagline "Energía solar térmica en industria". Navigation links include HOME, APPSOL, PARTNERS, CASOS DE ÉXITO, EVENTOS, NOTICIAS, ACTORES, ENLACES, RESULTADOS, HERRAMIENTA, and DOCUMENTOS. A main banner features a large image of a solar collector and the text "Jornada Técnica: 'Energía Solar para calor y frío en procesos Industriales'". Below this, there is a section for "Noticias" with a sub-header "Presentación de AppSol en Exposolar" and a section for "Casos de éxito" with a sub-header "Contank. Limpieza de camiones". The footer includes logos for CORFO, Ministerio de Energía, and ACESOL.

**Appsol** Energía solar térmica en industria

HOME APPSOL PARTNERS CASOS DE ÉXITO EVENTOS NOTICIAS ACTORES ENLACES RESULTADOS HERRAMIENTA DOCUMENTOS

**Jornada Técnica: "Energía Solar para calor y frío en procesos Industriales"**

Aiguasol Ingeniería, con el apoyo de CORFO y el Ministerio de Energía, tiene el agrado de invitarle al Workshop "Energía Solar para calor y frío en procesos Industriales" dentro del marco de el presente proyecto. A realizarse el día 28 de Marzo 2014 de 9:00 [...]

**Noticias**  
Presentación de AppSol en Exposolar

**Casos de éxito**  
Contank. Limpieza de camiones

**Inicio oficial proyecto Appsol**

**Contank. Limpieza de camiones**

Proyecto apoyado por  
**CORFO** **Ministerio de Energía** **ACESOL**

This screenshot shows a different page on the Appsol website. It features a large background image of a solar collector installation on a building roof. The Appsol logo and navigation menu are visible at the top. The main text on the page reads "Appsol-Therm - Energía Solar Térmica en la industria".

**Appsol** Energía Solar para Industria

Home Programas Industrias Casos de Éxito Formación Biblioteca Eventos

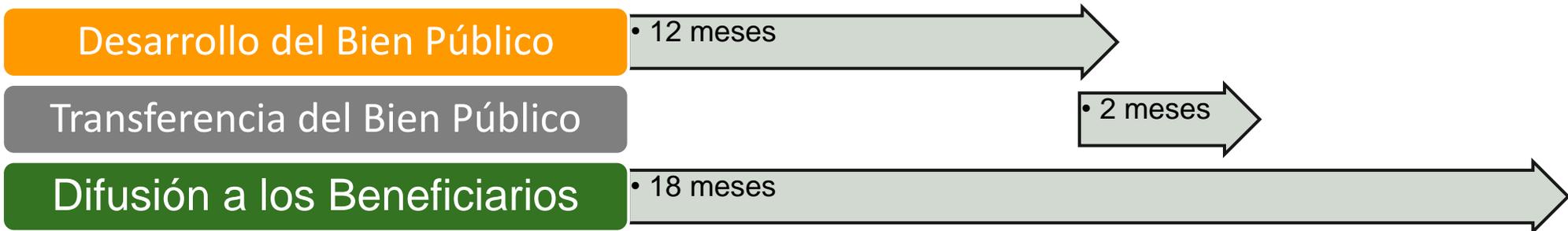
Apps

**Appsol-Therm - Energía Solar Térmica en la industria**



Propiciar un **mayor conocimiento** en el mercado nacional de las diferentes **aplicaciones tecnológicas de SST**, a las condiciones particulares de una parte importante de la **industria productiva nacional**, con el fin de estimar el **potencial técnico-económico** de la implementación de estas tecnologías de energías renovables en sus respectivos **procesos industriales de calor y frío**.

# Etapas del proyecto



1. **APLICACIÓN Y POTENCIAL**
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

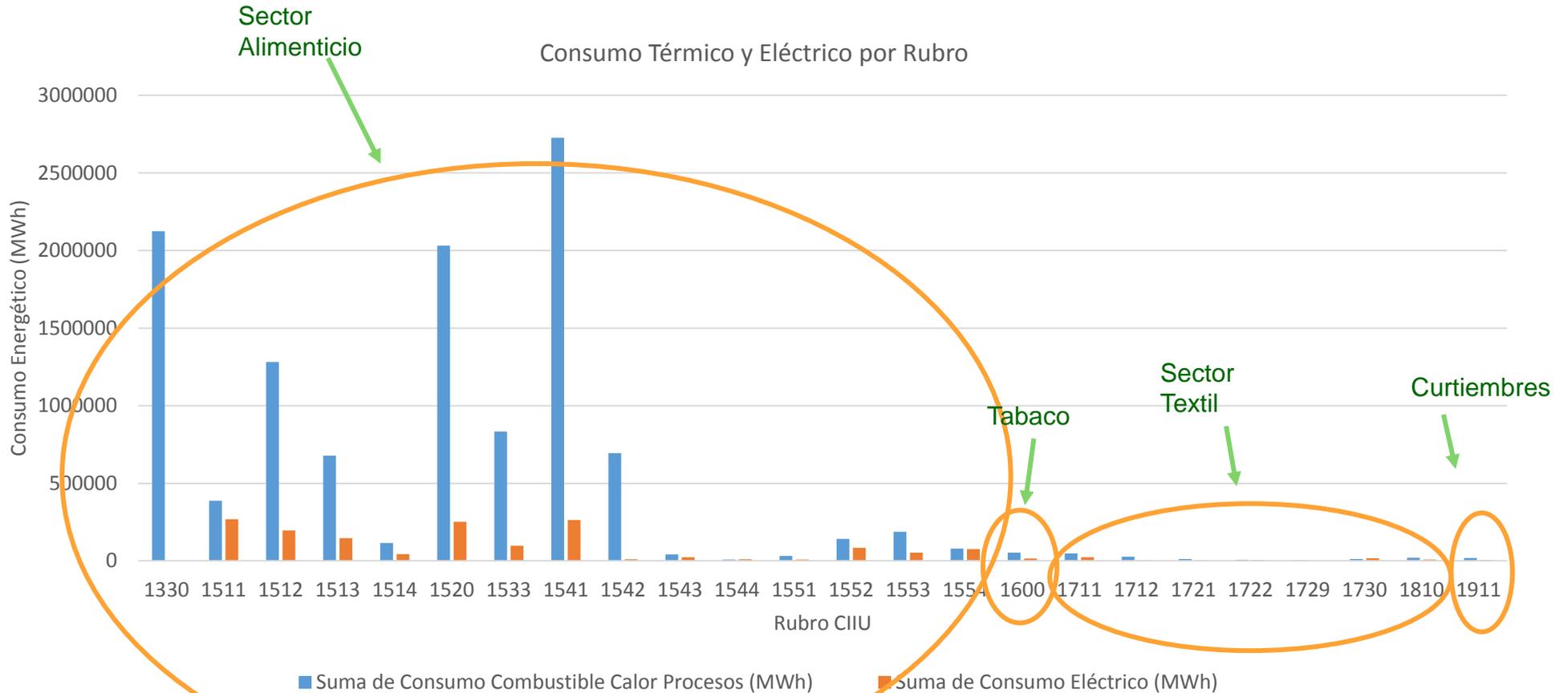


# Caracterización Industria Nacional - Fuentes de Información



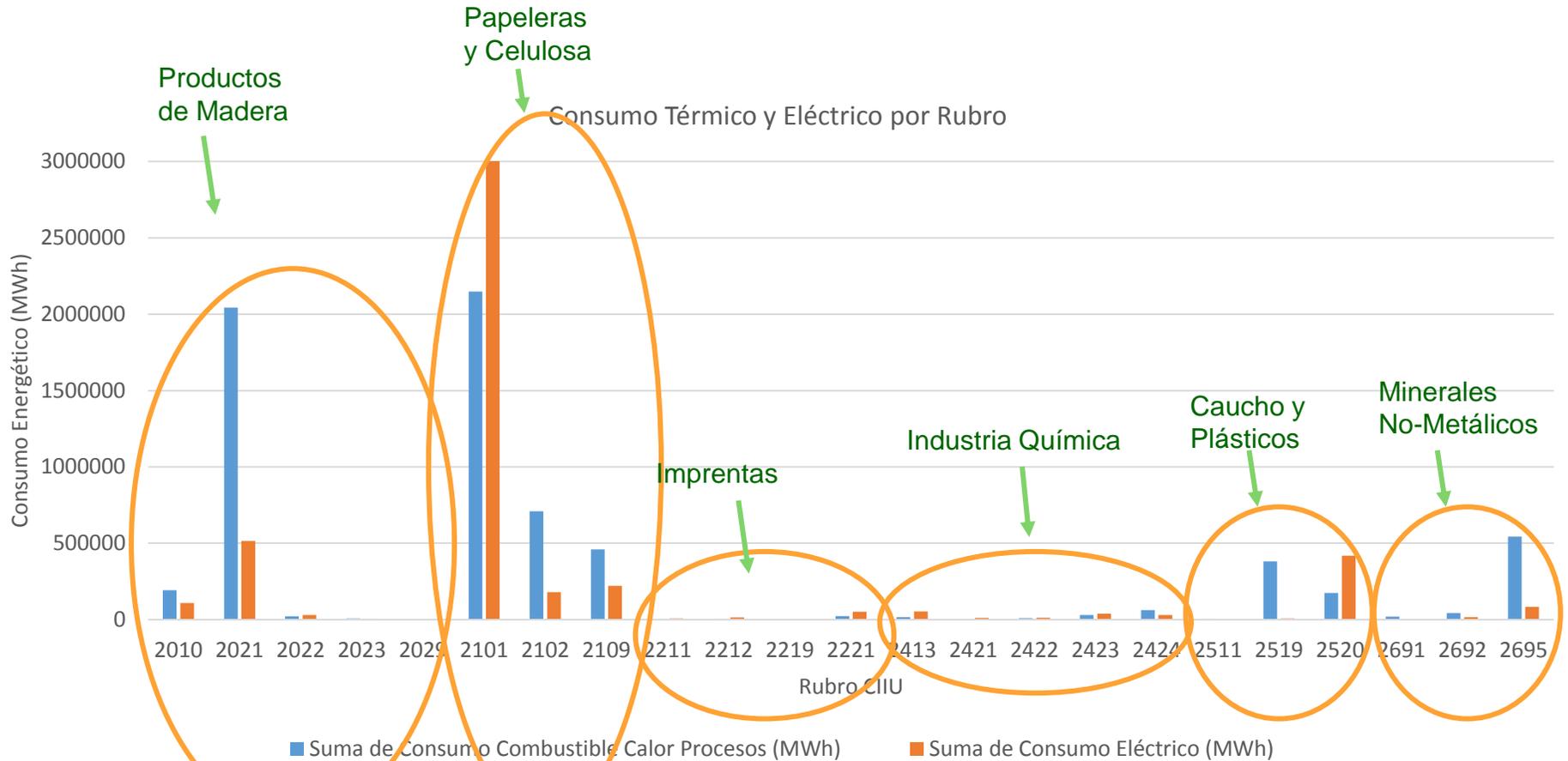
# Caracterización Industria No-Minera

## Consumos Totales de Combustibles y Eléctricos por Rubro Seleccionados

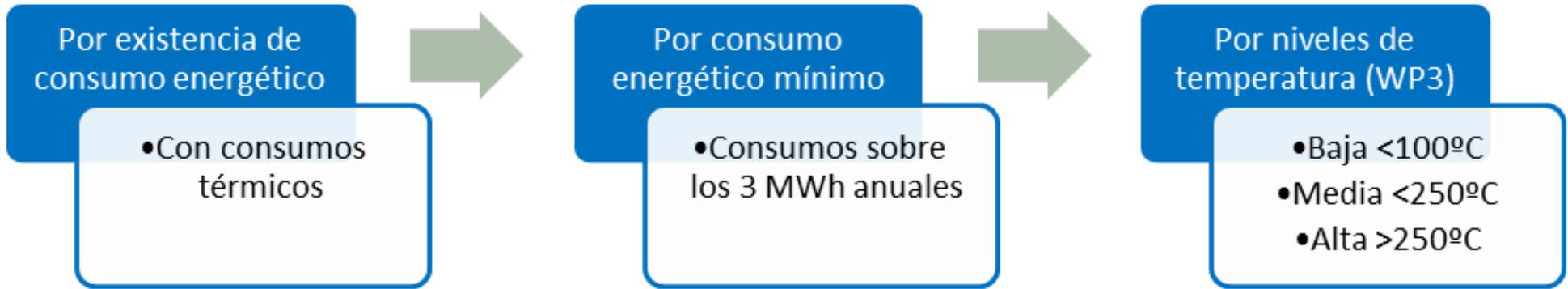


# Caracterización Industria No-Minera

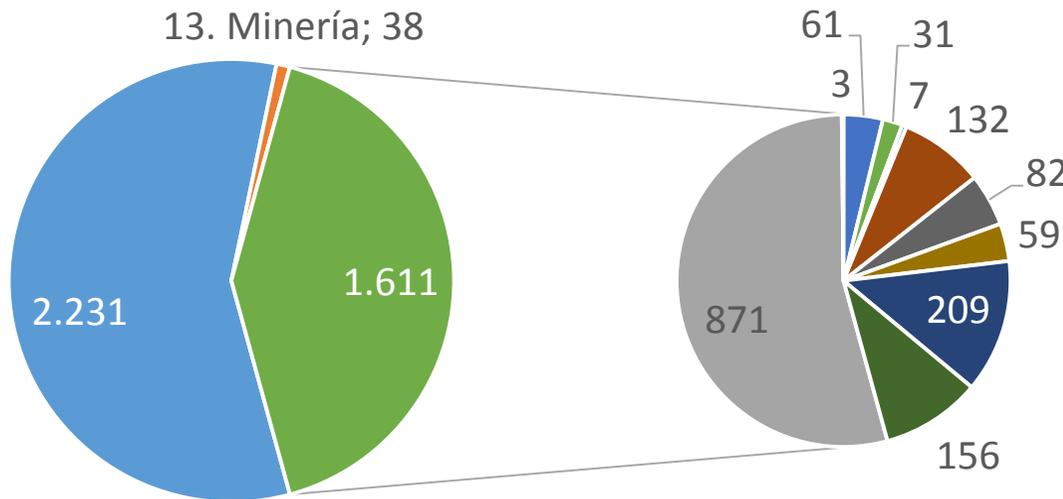
## Consumos Totales de Combustibles y Eléctricos por Rubros Seleccionados



# Caracterización Industria y Minería

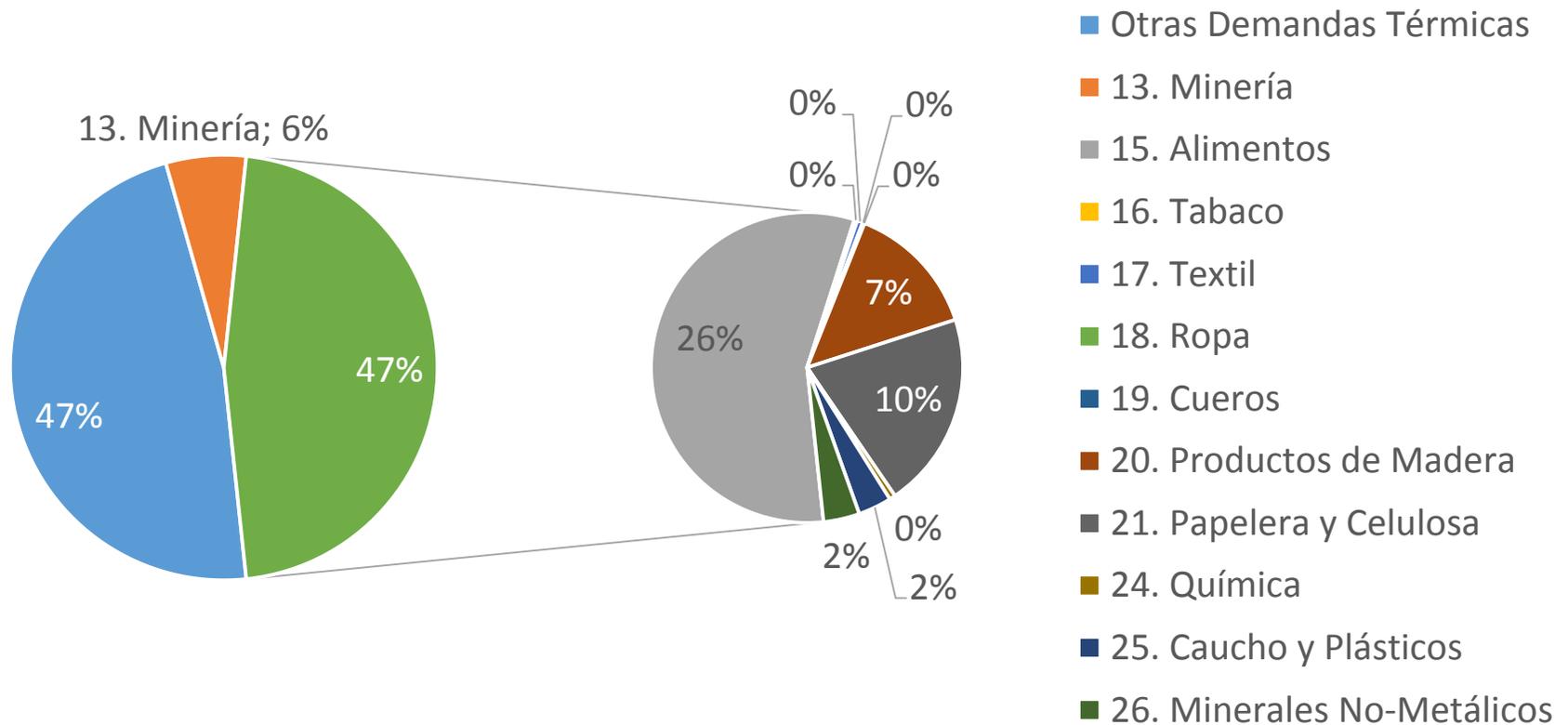


## Distribución Nº de Industrias y Minería Chilena

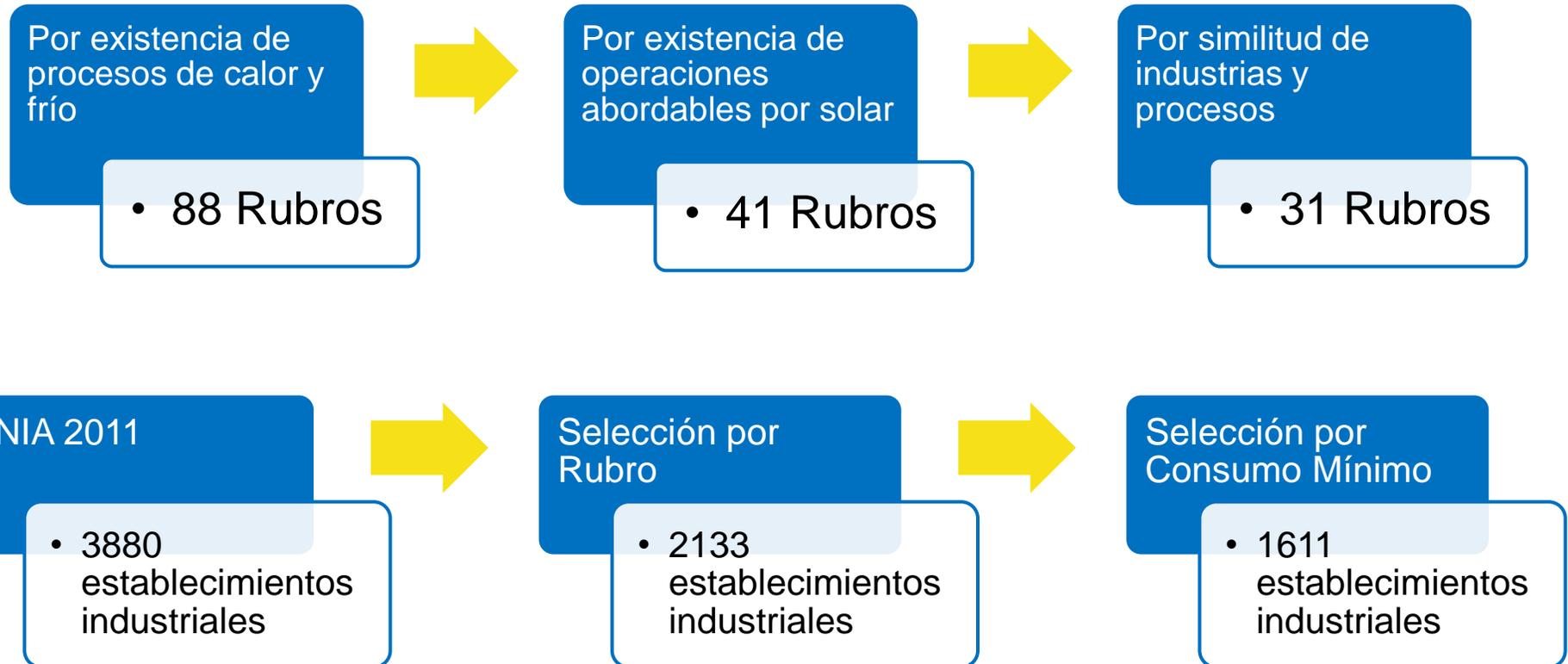


- Otros Rubros
- 13. Minería
- 15. Alimentos
- 16. Tabaco
- 17. Textil
- 18. Ropa
- 19. Cueros
- 20. Productos de Madera
- 21. Papelera y Celulosa
- 24. Química
- 25. Caucho y Plásticos
- 26. Minerales No-Metálicos

## Distribución Demanda Térmica en la Industria y Minería Chilena

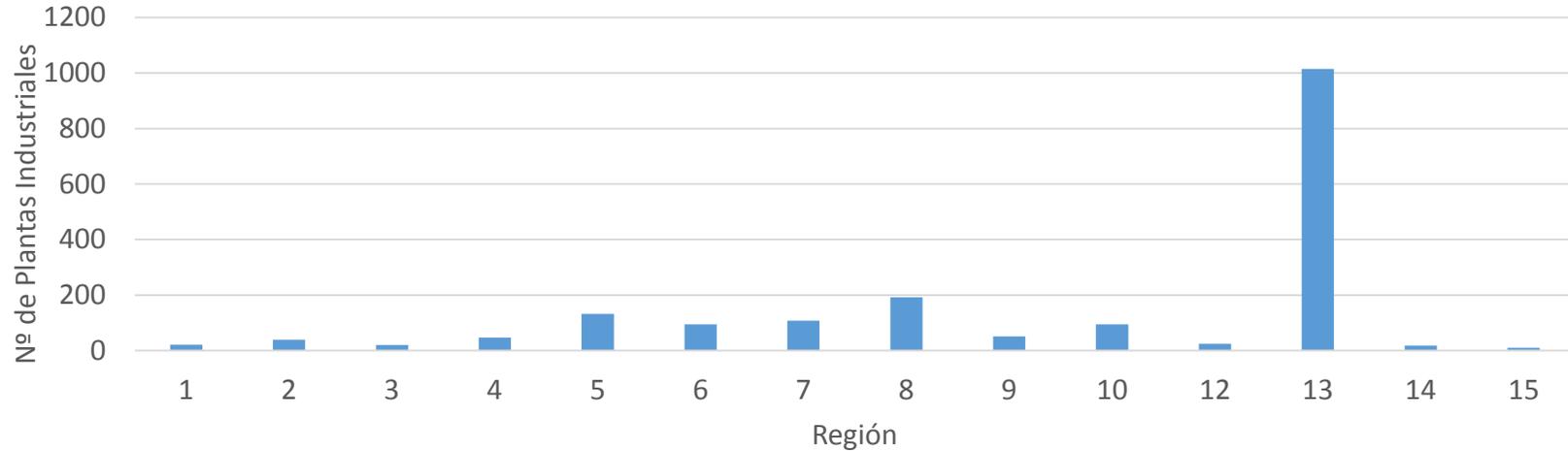


## Caracterización de los Rubros y Establecimientos Industriales

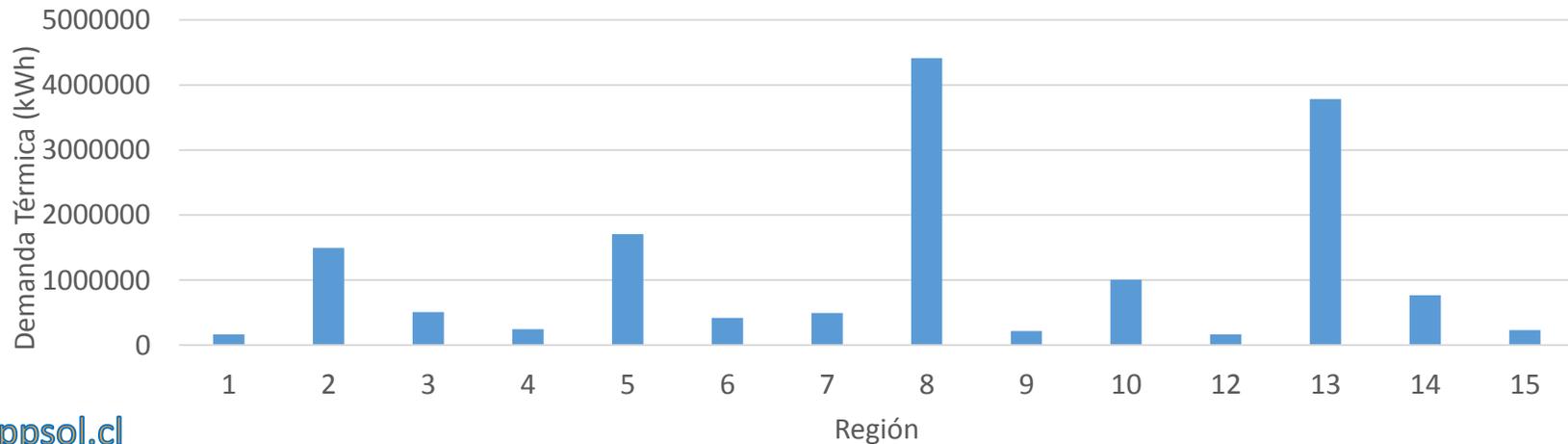


## Distribución Regional Sector Industrial

Nº de Establecimientos del Sector Industrial por región



Demanda Energética Total Sector Industrial



# Potencial de Mercado de Sistemas Solares Térmicos en IM

## Estimación preliminar de Superficie Potencial de SST

Región	Demanda Térmica (MWh)	Radiación (kWh/m <sup>2</sup> .a)	Potencial estimado SST (m <sup>2</sup> )
15	229.860	2343	65.403
1	165.491	2070	53.298
2	1.495.332	2362	422.053
3	505.575	2178	154.752
4	243.743	1817	89.431
5	1.703.923	1620	701.203
6	418.180	1605	173.699
7	491.668	1512	216.785
8	4.415.575	1537	1.915.235
9	214.810	1411	101.493
14	764.971	1344	379.450
10	1.003.449	1216	550.136
12	164.538	874	125.506
13	3.782.380	1847	1.365.234
<b>Total</b>	<b>15.599.495</b>	<b>-</b>	<b>6.313.678</b>



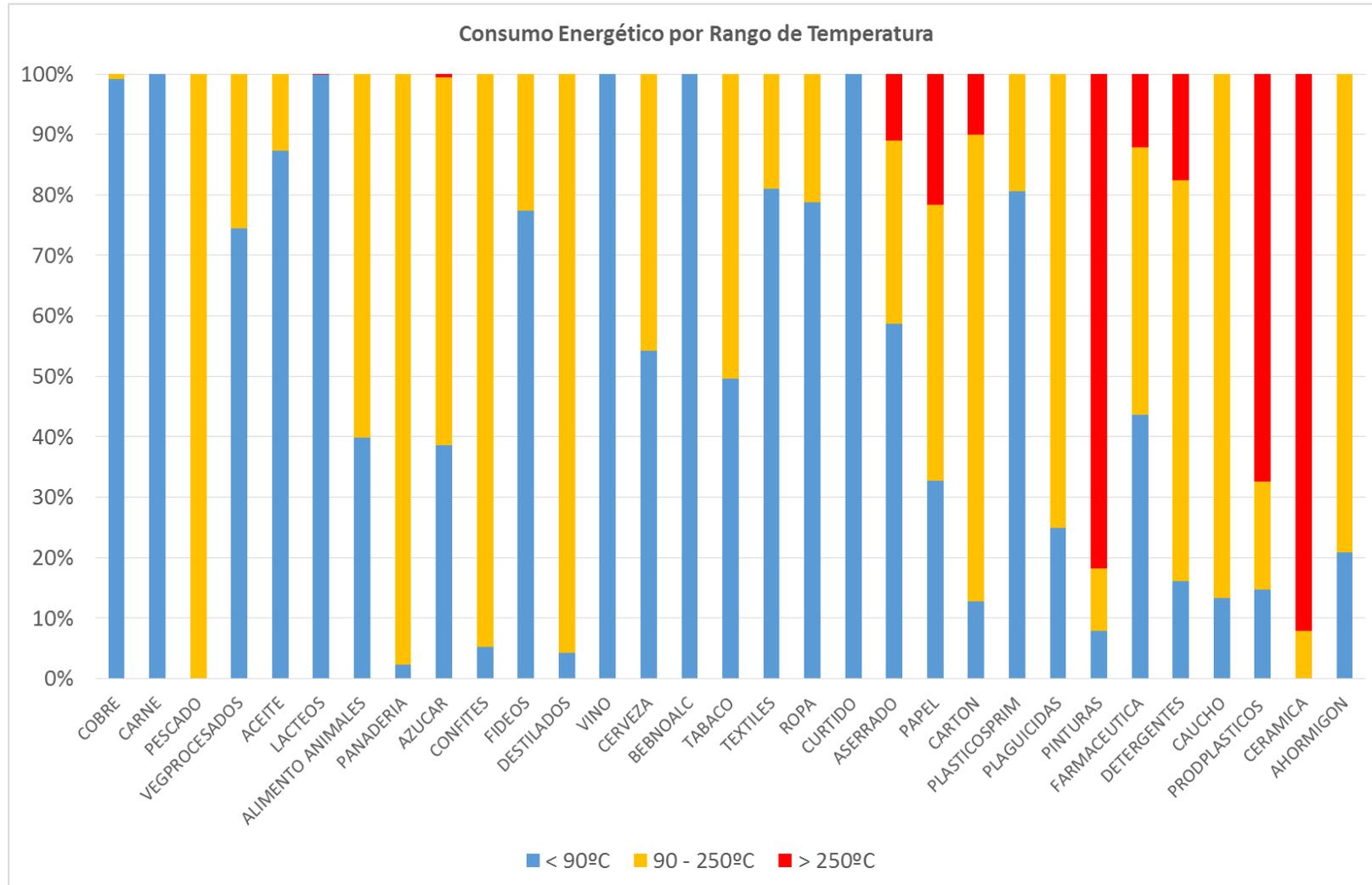
1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
- 2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES**
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES



## Caracterización de las demandas térmicas, de calor y frío, de los rubros presentes en Chile.

- Identificación de procesos y operaciones.
- Determinación de rangos de temperatura (0 – 250 °C).
- Caracterización del caudal, temperatura, presión e intensidad energética de todas las operaciones y su porcentaje por industria.
- Caracterización de perfiles horarios y estacionales del consumo.

## Rangos de Temperatura por Rubro Industrial



## Ejemplo - Fichas de industrias tipo (1)



### 1.1. INDUSTRIA DEL COBRE

#### 1.1.1. DESCRIPCIÓN:

La industria del cobre corresponde a aquella dedicada al refinamiento en forma de cátodos del cobre extraído.

La industria tipo que representa al rubro de la industria del cobre se compone en su mayoría de las operaciones necesarias para la producción de cátodos de cobre.

El "Anuario 2012" de Cochilco, muestra que en Chile un 69,9% de los cátodos de cobre se elabora a partir del proceso de extracción por solvente y electroobtención, y un 30,1% a partir de electrorefinación.

El principal consumo de calor está asociado al calentamiento de electrolito para la electroobtención y el calentamiento del agua para lavado de cátodos.

#### 1.1.2. REPRESENTATIVIDAD

La industria tipo que se describe a continuación busca representar un sector que puede incluir industrias correspondientes a distintos rubros. Estos rubros se recogen a continuación:

Tabla 1. Rubros representados por industria del cobre

CIU	Nombre
1330	Refinación de cobre



### 1.1.3. OPERACIONES CONSUMIDORAS DE CALOR Y FRÍO

A continuación se presentan las operaciones consumidoras de calor y frío en estas industrias tipo.

Tabla 2. Operaciones consumidoras de calor en la industria del cobre.

Operación	Producto Producido	Temperatura de retorno [°C]	Temperatura de impulsión [°C]	Temperatura entrada producto a operación [°C]	Temperatura salida producto de operación [°C]	Consumo energético por cantidad de producto [kWh]
Electrorefinación EN	COBRE	60	62	60	62	0,50%
Pre calentamiento electrolito EW	COBRE	38	46	38	46	79,20%
Calentamiento agua lavado	COBRE	18	53	18	53	20,30%

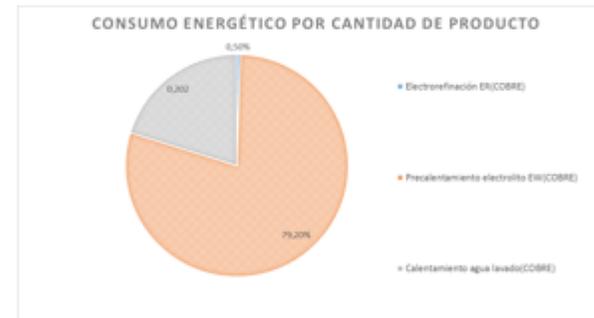


Ilustración 1.



## Ejemplo - Fichas de industrias tipo (2)



### 1.1.4. DISTRIBUCIÓN DE NIVELES DE TEMPERATURA

A continuación se presenta la distribución de niveles térmicos según su peso relativo dentro de la industria, tanto por temperatura de operación, requerida, cómo de retorno, que llega al sistema solar.

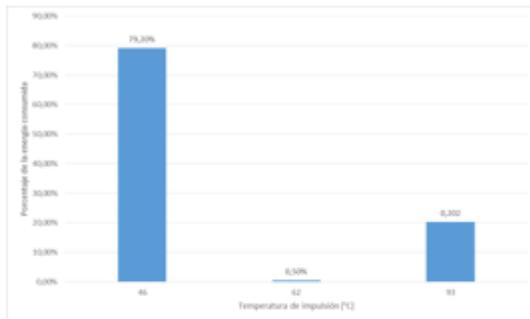


Ilustración 4. Consumo por rango de temperatura de impulsión

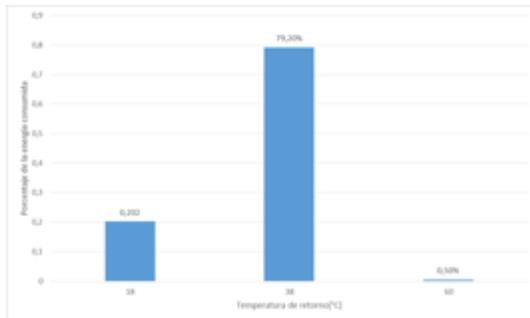


Ilustración 5. Consumo por rango de temperatura de retorno

WPI\_D01

2 de 4



### 1.1.5. INDUSTRIA SIMULADA

Para simular la industria se integraron algunas operaciones con temperaturas de retorno similares, para obtener 4 operaciones. Éstas se presentan en la siguiente tabla

Tabla 3. Operaciones a simular de la Industria del cobre.

Operación	Producto	Calor [t] o frío [t]	Temperatura de retorno [°C]	Temperatura de impulsión [°C]	Porcentaje de consumo de energía por unidad de producto [%]
Calentamiento electrolítico	COBRE	Q	60	62	1,99%
Calentamiento electrolítico	COBRE	Q	38	40	79,00%
Lavado	COBRE	Q	18	00	20,00%

En la tabla de operaciones a simular, la operación agregada corresponde a:

Tabla 4. Operaciones correspondientes a la operación agregada continúa de la Industria del cobre.

Operación	Producto	Temperatura de retorno [°C]	Temperatura de impulsión [°C]	Porcentaje de consumo de energía por unidad de producto [%]
-----------	----------	-----------------------------	-------------------------------	---

### 1.1.6. FUENTES:

WPI\_D01

4 de 4





## Ejemplo - Fichas de operaciones (2)



### 1.1.4. PARÁMETROS DE OPERACIÓN:

Las industrias tipo en que se encuentran las operaciones y los parámetros de operación son los siguientes:

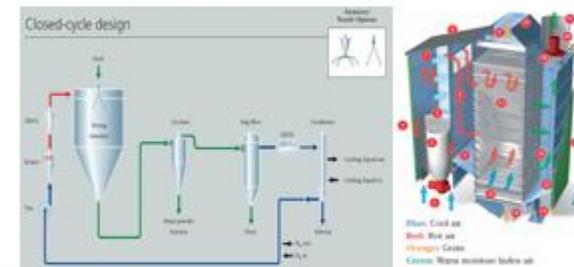
Tabla 2 Parámetros de operación para Secado

Código de industria tipo	Industria tipo	Fluido tratado	Temperatura de operación [°C]	Horas anuales de operación [horas]	Consumo de energía por cantidad de producto [kWh/tq]	Porcentaje de consumo energético en la industria tipo [%]
1512	Industria pesquera	vapor	55	3768	0,0969	75,83%
1513	Industria de frutas y hortalizas procesadas	agua aire	74	2616	0,0006	0,12%
1542	Industria del queso	Agua-aire	95	6260	0,1	32,82%
1543	Industria de productos de chocolate y confites	vapor	55	2504	1,8723	90,23%
1544	Industria de fideos	Agua	0	6260	0,1821	60,90%
1553	Industria de las cervezas	Agua	80	6260	0,3577	60,62%
1600	Industria del tabaco	Agua-aire	90	3654	0,0852	53,60%
1600	Industria del tabaco	Agua-aire	80	3654	0,0376	23,67%
1911	Industria del cuero	Agua-aire	50	3654	0,4021	72,21%
2101	Industria de pastas de madera, papel y cartón	Agua-aire	0	8592	0,0012	47,53%
2413	Industria de plásticos primarios	aire	0	3654	0,0096	32,00%
2413	Industria de plásticos primarios	aire	0	3654	0,0001	1,01%
2421	Industria de los plaguicidas	agua	82-93	2088	0,4556	90,35%
2423	Industria farmacéutica	agua	80	3654	0	12,40%
2424	Industria de los jabones y detergentes	vapor-aire	70	3654	0,0245	17,61%
2692	Industria cerámica	vapor	225	5220	0,0996	7,96%



2692	Industria cerámica	Agua-aire	300	5220	0,0964	8,37%
171X	Industria textil	Agua-aire	115	3654	0,7514	33,90%
172X	Industria de prendas textiles	Agua	115	3654	0,7514	66,67%
202X	Industria de la madera	Agua	70	3654	0,3206	23,10%
202X	Industria de la madera	agua	440	3654	0,1522	10,96%
210X	Industria del papel y cartón	Agua-aire	120	6260	0,0012	18,56%

### 1.1.5. ESQUEMA EQUIPO O DIAGRAMA:



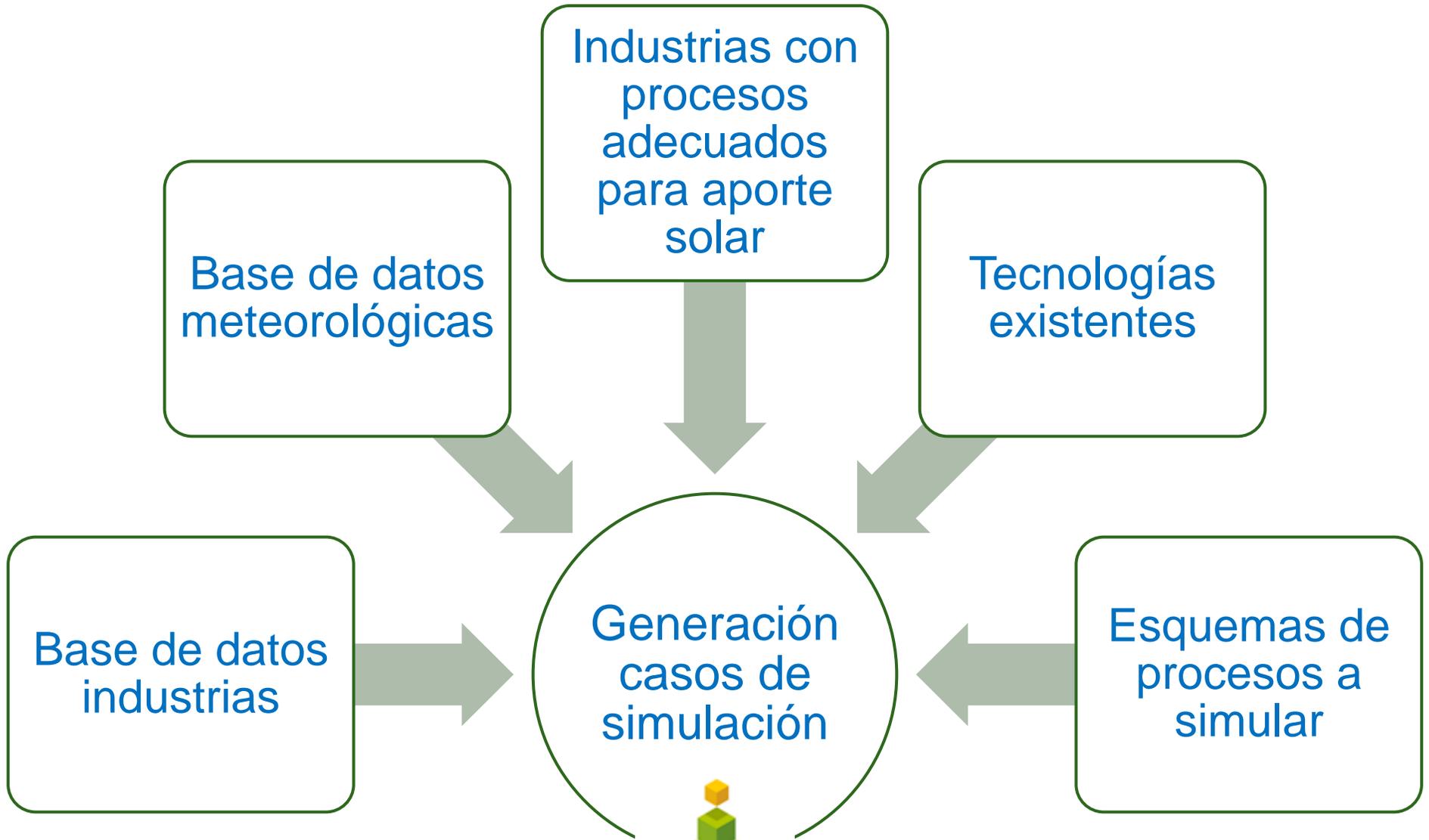
### 1.1.6. FUENTES:

- imagen 1: <http://www.rim.com/>
- imagen 2: <http://www.grandallgroup.co.uk/>
- (1) Warren L. Mc Cabe - **UNIVERSIDAD** Peter **UNIVERSIDAD** Operaciones unitarias en Ingeniería Química, **UNIVERSIDAD**, 4ta edición

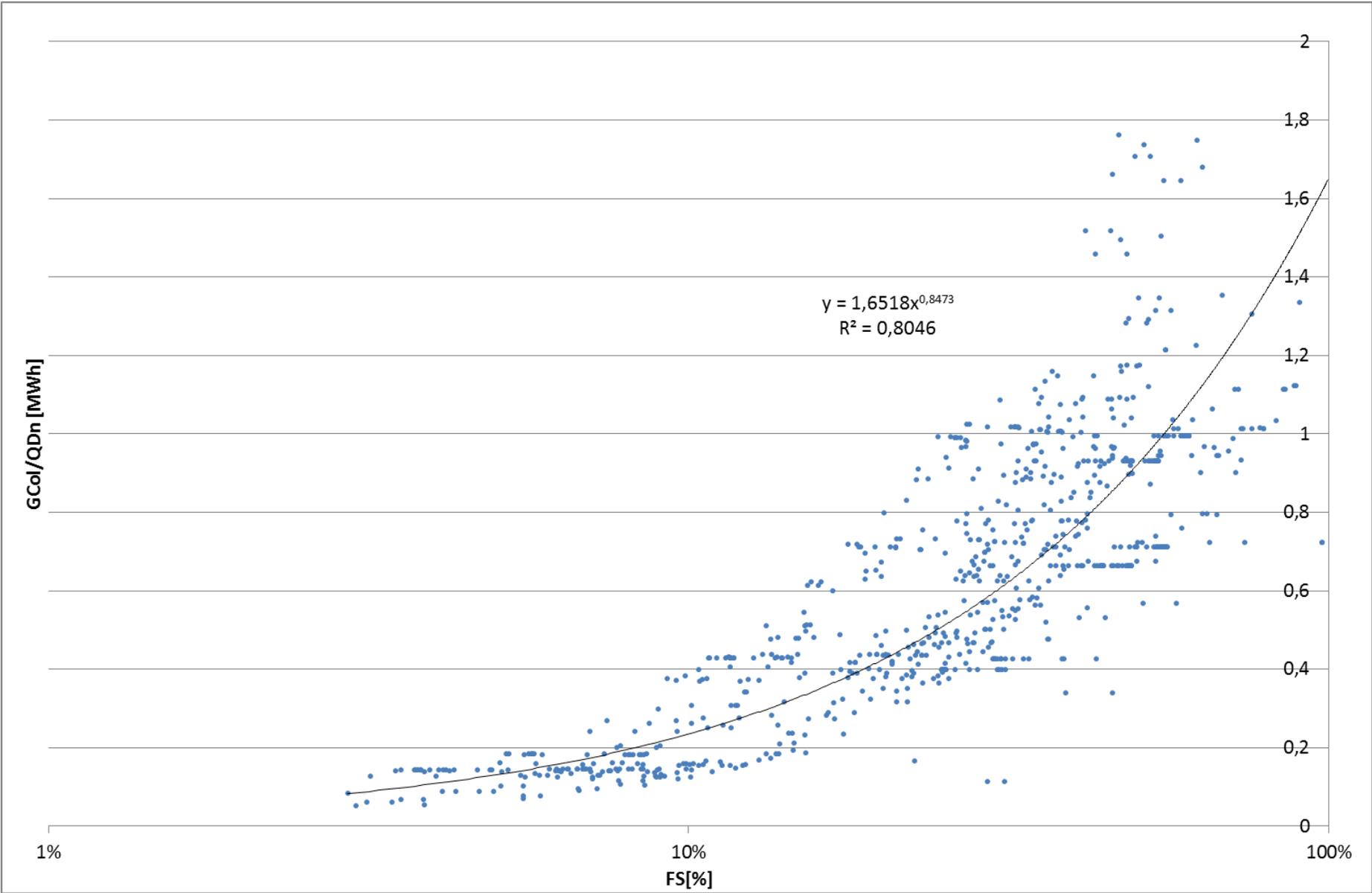


1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
- 3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

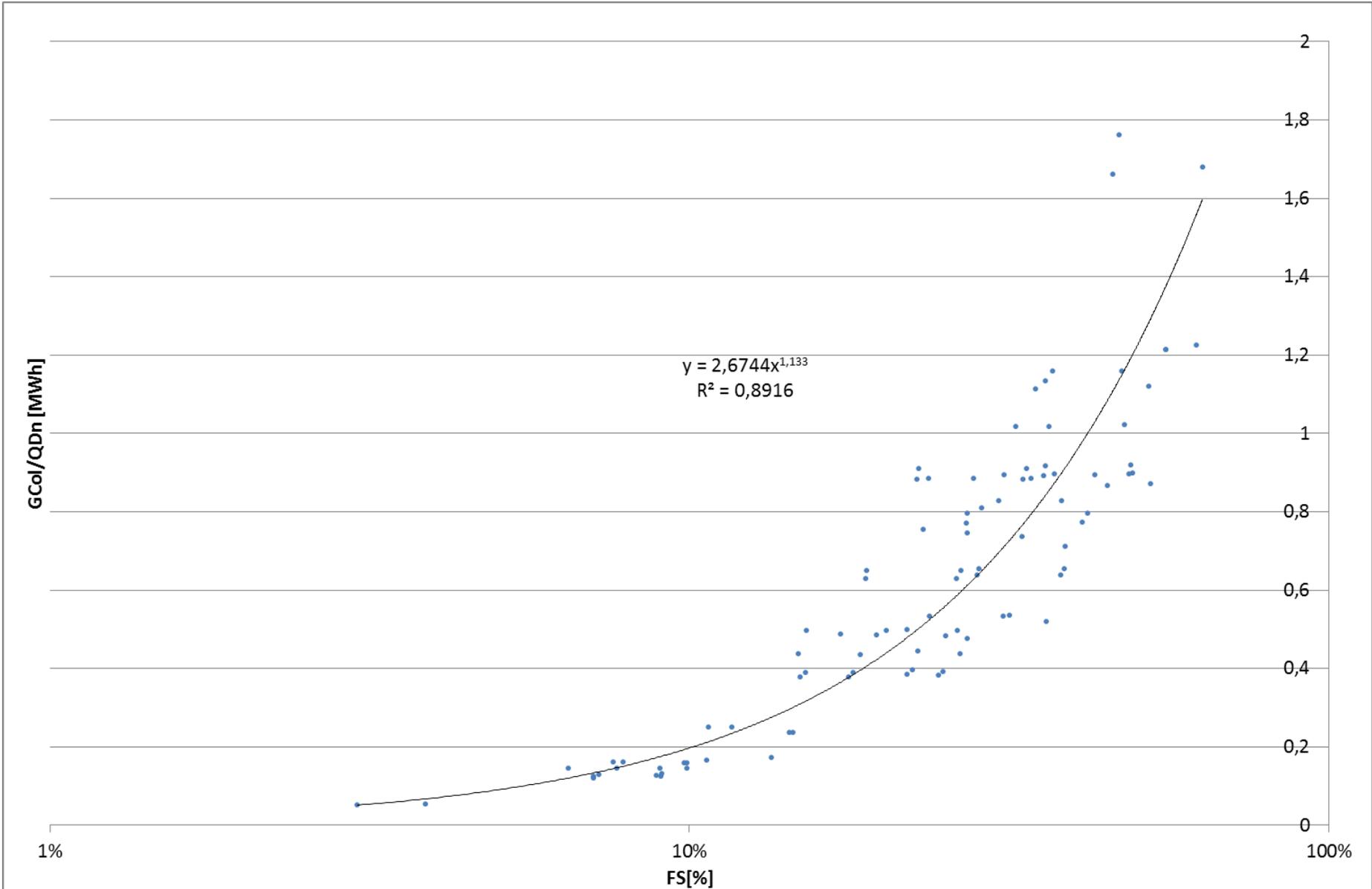
# Simulaciones y Casos Estudiados



# Simulaciones y Casos Estudiados



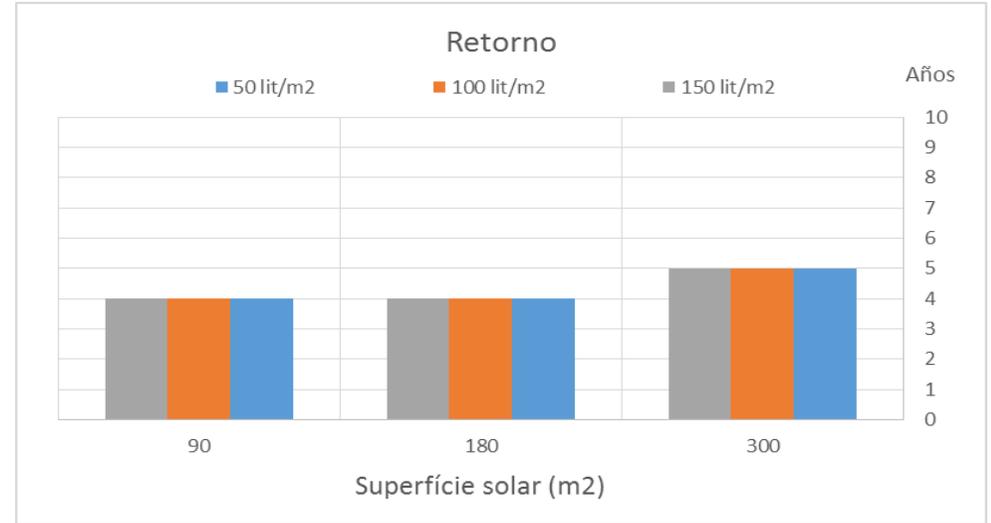
# Ejemplo Rubro 1520: Industria Láctea



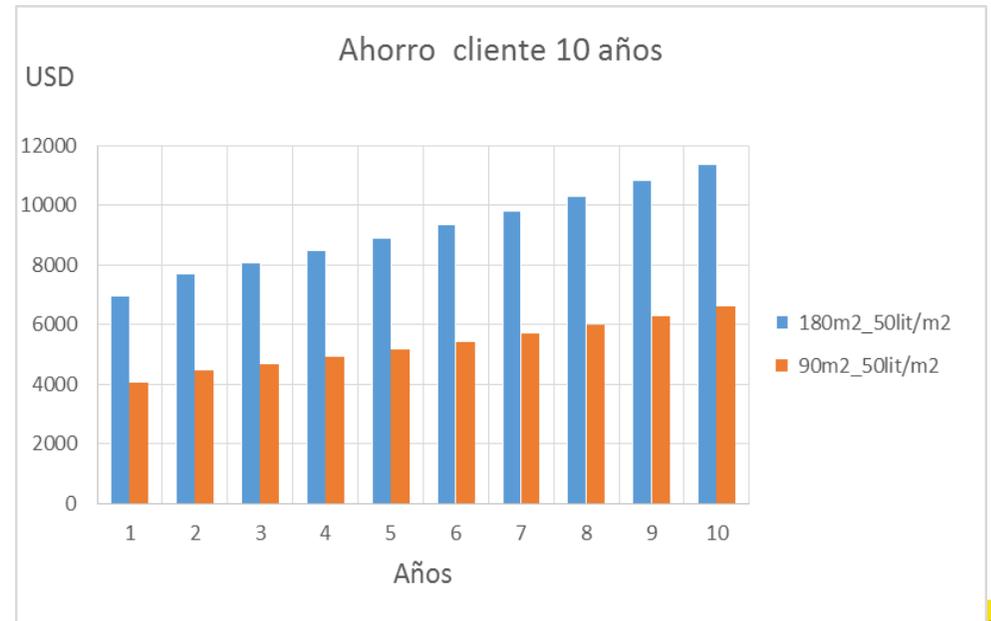
1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 4. CASOS DE ESTUDIO**
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

- Auditoría de 9 casos de estudio:
  - Industria de harina de pescado
  - Industria de conservas de pescado
  - Industria láctea
  - Industria cervecera
  - Industria de cerdos
  - Industria fruta
  - Industria alimentos procesados
  - Minera electroobtención
  - Minera biolixiviación

# Caso de estudio Ejemplo Industria Cervecera



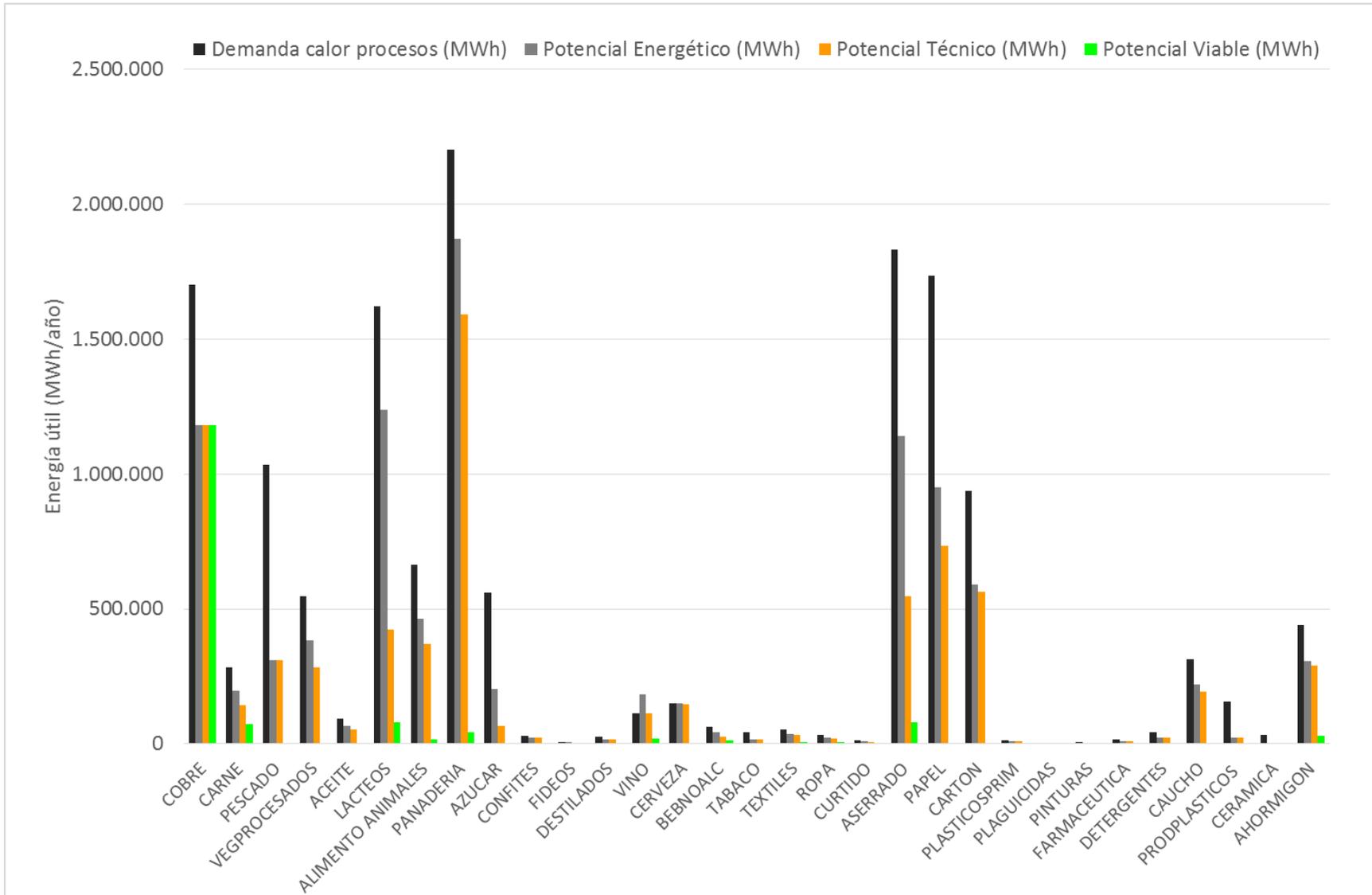
		Autoexplotación	ESCO
Área Captación	m2	300	300
Espacio ocupado	m2	500	500
Ubicación		CUBIERTA	CUBIERTA
Volumen	m3	45	30
Producción	kWh/m2,año	931	904
Aporte Solar	%	52.1%	50.6%
Costo Instalación	USD	208,948	-
Subvención FIA	%	40%	-
Costo Inversión	USD	125,369	-
TIR	%	22.2%	-
Costo Energía	USD/MWh	105	67
Ahorro primer año	USD	29,422	10,328
Ahorro total cliente	USD/10 años	224,116	135,878
Retorno	años	5	-



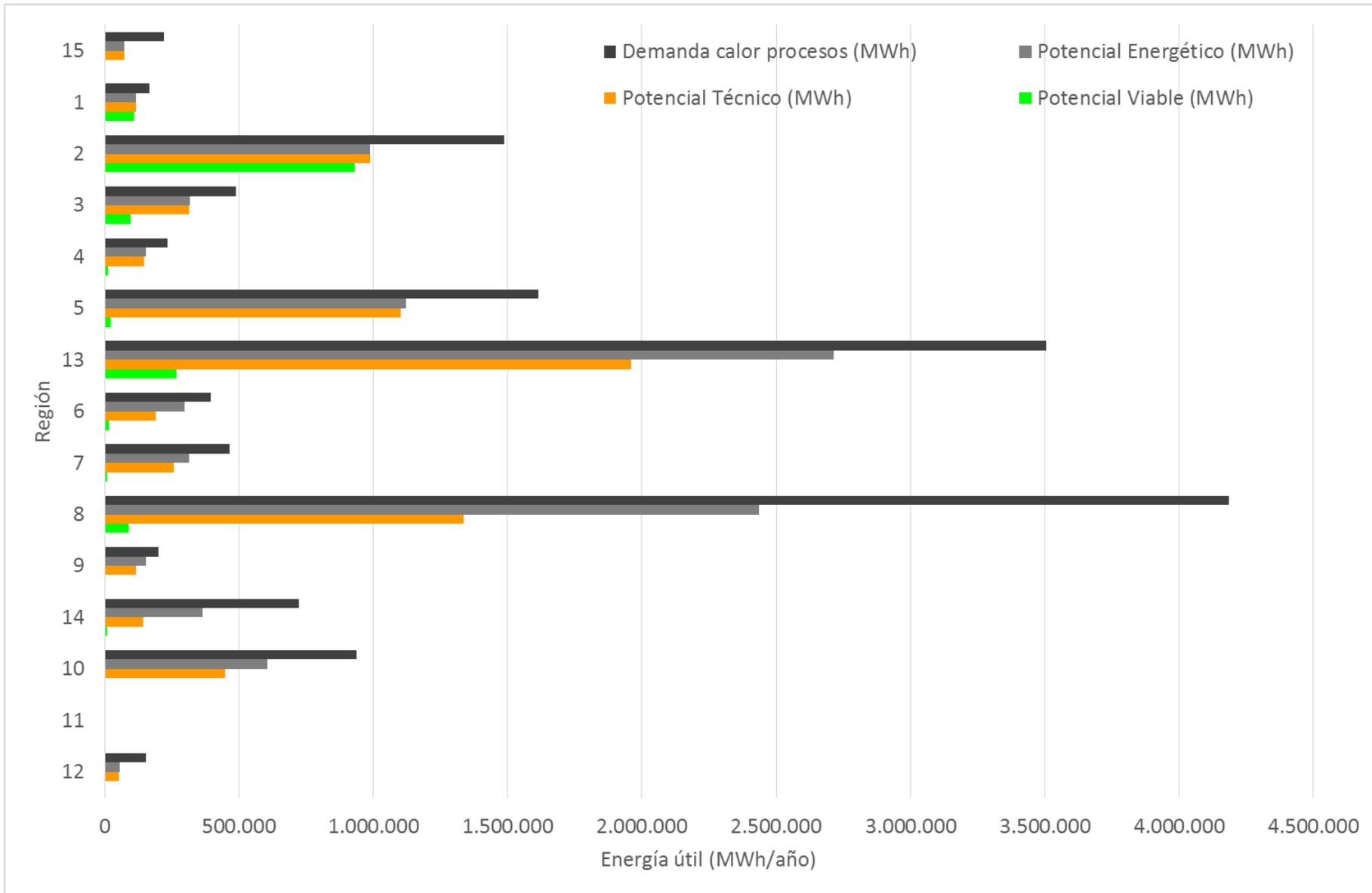
1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL**
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES



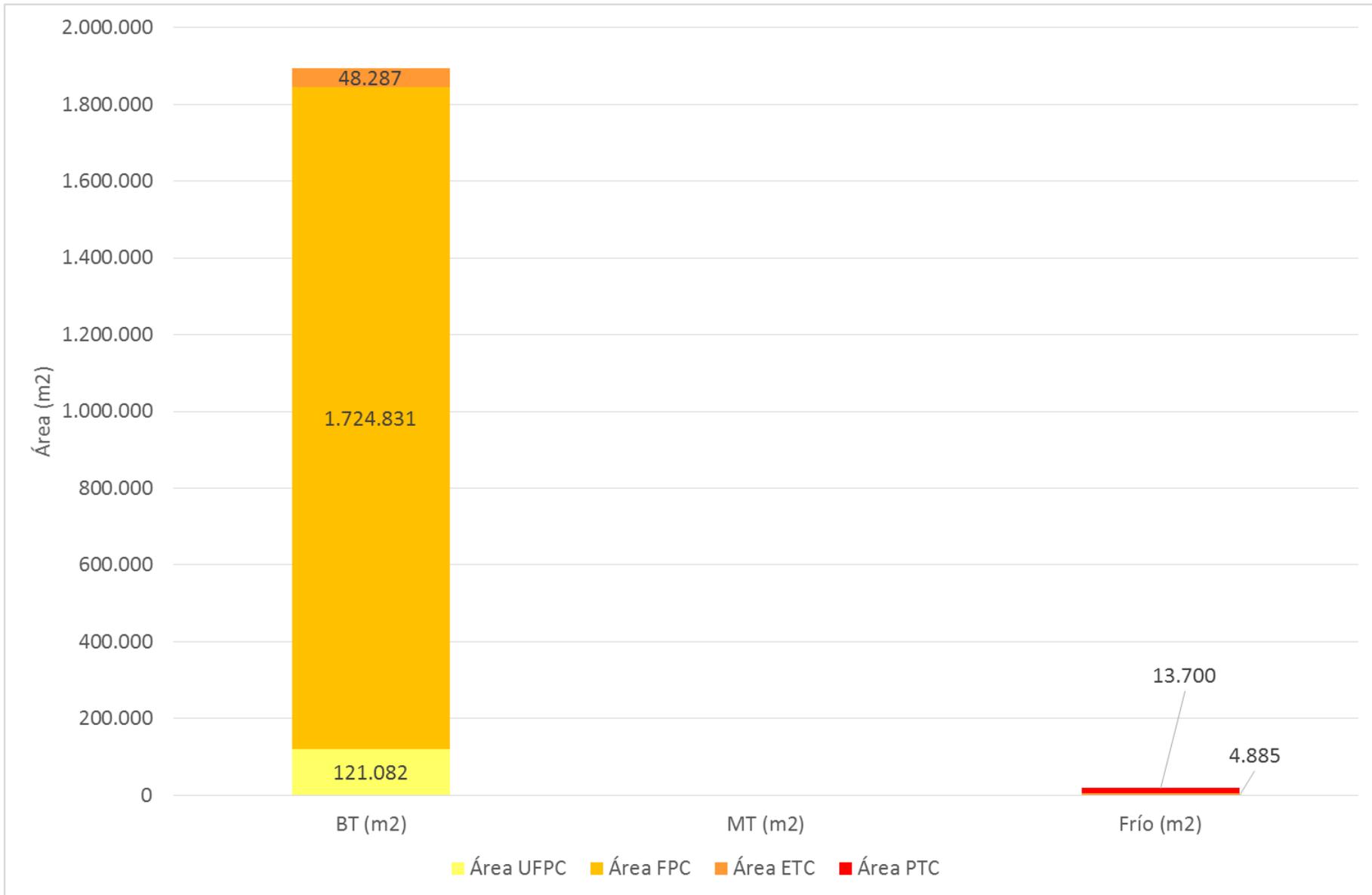
# Potencial viable por Rubro



# Potencial viable por Región



# Potencial por tecnologías



# Potencial por regiones y rubros

● CARNE 
 ● ACEITE 
 ● AZUCAR 
 ● LACTEOS 
 ● ALIMENTO ANIMALES 
 ● PANADERIA 
 ● VINO 
 ● CERVEZA 
 ● BEBNOALC 
 ● TEXTILES 
 ● ROPA 
 ● CURTIDO 
 ● ASERRADO 
 ● AHORMIGON

Región	COBRE	CARNE	ACEITE	LACTEOS	MENTO ANIMA	PANADERIA	AZUCAR	VINO	CERVEZA	BEBNOALC	TEXTILES	ROPA	CURTIDO	ASERRADO	AHORMIGON	TOTAL
15						83										83
1	136.176											902			208	137.286
2	1.179.604								377					1.462		1.181.443
3	124.860															124.860
4	15.398	340						455							163	16.356
5	15.514	11.952						3.539							227	31.233
13	35.773	60.852	3.344	53.752	5.544	11.796		14.880	5.510	13.996	7.181	6.619	2.521	874	46.743	269.383
6	884	17.327						2.052								20.264
7		3.825						6.281								10.858
8		776			294	11.221								752	99.253	111.965
9					351										421	351
14				1.051			5.107									6.157
10					2.547											2.547
11																0
12																0
	1.508.209	95.072	3.344	55.447	19.312	11.879	5.107	27.207	5.886	14.898	7.181	6.619	2.521	100.878	49.224	1.912.785

1. APLICACIÓN Y POTENCIAL
2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES
3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CASOS DE ESTUDIO
5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL
6. BIENES PÚBLICOS DISPONIBLES

# Herramienta de Evaluación de SST en Procesos Industriales

## Ayuda en la decisión de alternativas solares de generación

- Evaluación directa de potencial solar en **distintos escenarios de aporte solar** (Área de captación, tecnología, ubicación, etc.)
- Cálculo de **producción solar de energía y fracción de cobertura** de la demanda.
- Cálculo de **factores económicos de decisión** y costos (CAPEX, OPEX, TIR, ahorro, etc.)

Rubro al que pertenece la industria a evaluar.

Evaluar aporte a generación de frío en la Industria?:

Área disponible:  [m<sup>2</sup>]

Tipo de tecnología a evaluar:

Seleccione la localización en el mapa:

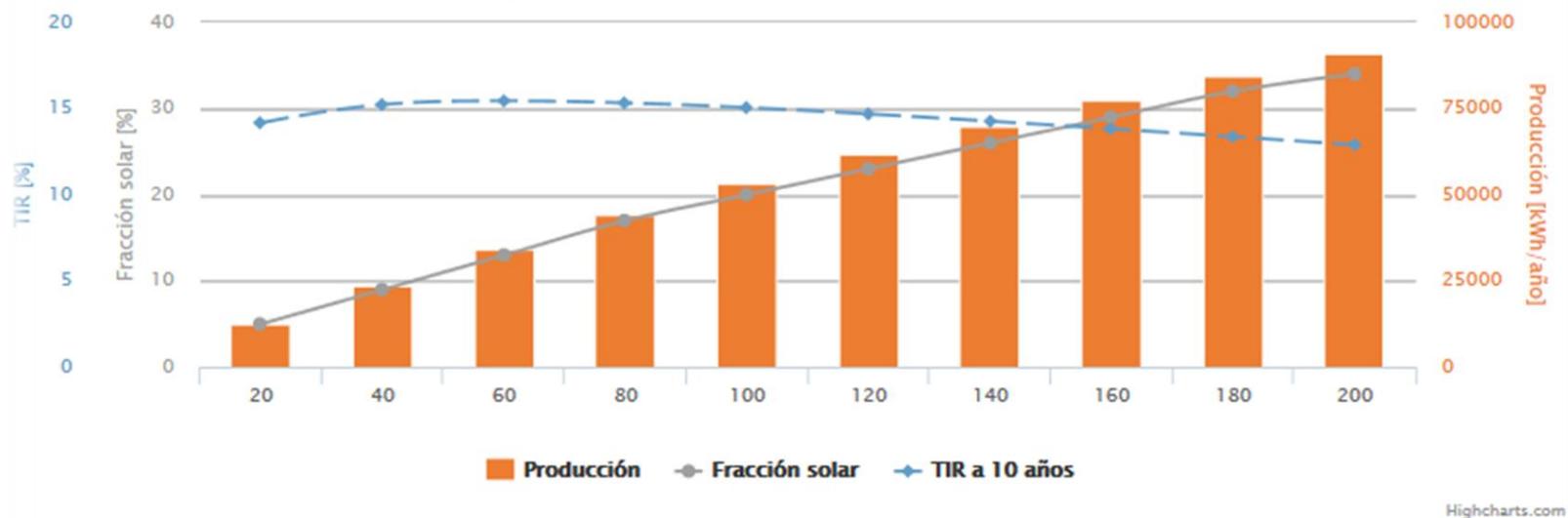


Mapa Satélite

# Herramienta de Evaluación de SST en Procesos Industriales

- Forma de uso
  - Registro en página de proyecto ([www.appsol.cl](http://www.appsol.cl))
  - Resultados entregados en pantalla e imprimible.

Resultados respecto de la inversión de la propia industria y rentabilidad de la misma.



Modo ESCO (Energy Service Company)

Resultados si la inversión realizada en el sistema solar es asumida por una empresa tipo ESCO con una TIR del 10%.



# Appsol

Manual de diseño de Sistemas Solares Térmicos para la Industria Chilena

# 1

Bien Público desarrollado dentro del marco del Proyecto APPSOL



n dolor sit amet, consectetur adipiscing ultrinar justo in quam iaculis, in pretium elit ne volutpat dignissim dolor, vitae blandit urna quis. Duis eu finibus dolor, in feugiat turpis, e vel ex molestie rutrum. Proin dapibus lapibus dapibus. Fusce ornare arcu at elit erra. Mauris eu mauris finibus, commodo odio, pulvinar purus. Sed posuere, lorem ehenatis, nisi nulla sollicitudin justo, at n dul nec morus. Nulla mollis venenatis nisi, unc blandit vel. Morbi eu accumsan nulla, r velutpat.

ollis erat justo, at faucibus mauris tristique leo ac velit venenatis vestibulum. Aenean urnsan varius. Integer hendrerit erat nibus, eu malesuada eros blandit. Cras ducibus urna, a faucibus est dapibus eget. hendum ac quam et accumsan. Proin portitor a, sed pretium sapien oloifend et. Nulla ibus eleifend. Mauris placerat erat leo, pectorur diam fermentum quis. Mauris erat jat ac erat vel, faucibus gravida odio. In hac stea dictumst.



Energía solar térmica en industria

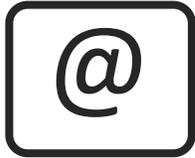
# Appsol

Energía Solar Térmica para la Industria Chilena

# 2

Bien Público desarrollado dentro del marco del Proyecto APPSOL

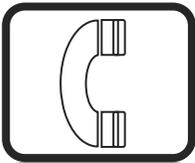




contacto@appsol.cl  
alfredo.gonzalez@aiguasol.cl



Magnere 1540, Oficina 702, Providencia,  
Santiago, Chile



(T) +56 2 22342484



appsol.cl  
aiguasol.cl



Proyecto apoyado por

